А. В. ЛИВЕРОВСКИЙ и К. Д. МОРОЗОВ

СТРОИТЕЛЬСТВО

В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАД 1941 МОСКВА

В предлагаемой книге излагаются общие сведения о вечной мерзлоте и дается характеристика деформаций сооружений, возведенных в занятых ею районах. Подробно описываются необходимые изыскания и методы конструирования и производства работ при возведении сооружений в условиях вечной мерзлоты. В книге рассматриваются преимущественно сооружения промышленного и коммунального характера.

Книга предназначается для инженеров и техников строителей, работающих в районах вечной мерзлоты, и может быть полезной также лицам смежных специальностей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый труд посвящен в основном вопросам строительства в условиях вечной мерзлоты сооружений промышленного и коммунального характера. Это строительство встречает немало затруднений и часто сопряжено с многочисленными недоразумениями и ошибками из-за своеобразия местных условий. Знания и опыт в этой области еще невелики. Многое из того, что все же стало известным, не сделалось достоянием широкого круга строителей и не учитывается многими работающими по строительству.

Необходима пропаганда имеющихся знаний о вечной мерзлоте и упорная длительная работа по расширению научных и практических данных, приобретаемых по этим вопросам.

Однако нельзя ждать пока все будет изучено и испытано. Жизнь властно требует немедленного ответа на многие вопросы, связанные со строительством в районах, занятых вечной мерзлотой, ибо это строительство идет уже сейчас и не может задерживаться до выяснения многого, подлежащего проверке и изучению. Сооружения строятся и существование их необходимо для успешного развития страны.

Долгом и обязанностью строителей является обеспечение нормального существования и нормальной работы этих построек уже при современном состоянии знаний в этой области.

Поэтому несмотря на многие неясности необходимо немедленно, в меру возможного, просуммировать имеющиеся знания и опыт и хотя бы отчасти помочь строителям в преодолении тех трудностей, с которыми они встречаются, работая в области вечной мерзлоты.

Предлагаемый труд — первый, всецело посвященный промышленному и коммунальному строительству, ибо работы, имеющиеся по вечной мерзлоте, по большей части затрагивают общие вопросы мерзлотоведения или касаются железнодорожного строительства. Вследствие этого настоящий труд не может претендовать на очень большую полноту и возможно содержит некоторые неточности и неясности, оправдываемые отсутствием прецедентов, а также сложностью и неизученностью вопросов. Его содержание определяется его назначением — служить делу ознакомления строителей с вечной мерзлотой, как совершенно своеобразной строительной областью, установить особенности строительства в условиях вечной мерзлоты, проанализировать имеющиеся знания, данные и опыт в целях использования их, а также наметить пути дальнейшей работы в менее известных вопросах, которые могут обеспечить успех в тех или иных исканиях.

Для того чтобы книга была полезна не только специалистам этого дела, но и широкому кругу лиц разнообразных специальностей и различной подготовки, изложению труда придан, по возможности, простой характер.

Авторы

Ленинград, 1941.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное освоение громадных богатых пространств севера и востока Советского Союза сопровождается бурным развитием промышленного, коммунального и дорожного строительства в необжитых и малоисследованных районах, в значительной своей части занятых вечной мерзлотой.

Вечная мерзлота часто сильно затрудняет строительство, вызывает большой расход средств, времени, энергии и приводит иногда к многочисленным, нередко непоправимым ошибкам, снижая темпы и успех освоения.

Внимательное ознакомление с условиями строительства в районах вечной мерзлоты показывает, что абсолютное большинство осложнений и неудач проистекало и проистекает из неучета своеобразия этих районов, обусловленного недостаточным знанием вечной мерзлоты, ее особенностей и сопутствующих ей явлений. Можно с уверенностью сказать, что почти во всех случаях, когда строители считались с вечной мерзлотой, стремились изучить ее проявления в данных условиях и принимали соответствующие меры, результаты строительства получались гораздо более успешными и сооружения оказывались обеспеченными от деформаций.

Следует считать установленным, что правильное строительство в условиях вечной мерзлоты требует специальных знаний мерзлоты вообще и тщательного изучения конкретных условий ее существования в районе строительной площадки. Однако до сих пор еще, несмотря на многие неудачи, несмотря на длинный ряд различных деформаций и даже разрушений, происходивших и происходящих с выстроенными сооружениями, у строителей часто отсутствует ясное представление о громадной важности знания мерзлоты и глубокого анализа местных условий, а также о необходимости сообразования устройства сооружений и методов производства работ по постройке с определенными местными проявлениями мерзлоты и сопровождающими ее обстоятельствами.

Нередко строители механически переносят твердо усвоенные и блестяще оправдавшие себя в обычных условиях конструкции, способы производства работ и методы исследований и изысканий площадок для строительства в новые условия, в условия вечной мерзлоты, вовсе не считаясь или весьма мало считаясь с тем, что своеобразие этих новых условий требует особого подхода. Конечно, результаты такого отношения не заставляют себя долго ждать. Вскоре возникают деформации и часто дело доходит до коренных переустройств, а иногда и до гибели построенного.

Правда, вечная мерзлота изучена мало. Правда и то, что практика строительства известна недостаточно. Но все же некоторые знания есть, как есть и некоторый опыт, почему следует во всех случаях возможно более продуманно ориентироваться на данные, добытые наукой и опытом.

Таким образом, первейшей задачей каждого строителя, работающего в этих интереснейших и вместе с тем сложнейших условиях, является возможно более полное ознакомление с вечной мерзлотой, ее характерными проявлениями и связанными со всем этим особенностями строительства.

Эта задача часто оказывается весьма трудной для рядового строителя, ибо хорошее знание вечной мерзлоты подразумевает знакомство с комплексом вопросов: о мерзлоте, гидрологии, геологии, грунтоведении, метеорологии и т. д.

Некоторые из имеющихся сведений и данных распылены во многих источниках, пользование которыми затруднено. Другие источники не предназначались для строителей и поэтому содержат многое для них ненужное или не очень важное, в то время как ряд действительно нужных вопросов в них отсутствует. Наконец, некоторые работы устарели или содержат недостаточно доброкачественный материал.

На этом основании представляется интересным и полезным сделать попытку создания труда, который помог бы строителям познакомиться с вечной мерзлотой и со строительством в ее условиях. Такое может быть и не очень глубокое, но достаточно полное и подробное ознакомление послужит надежной базой для дальнейшего совершенствования строителями своих знаний в этих вопросах и для сознательного отношения к выполняемой ими работе при изысканиях, проектировании и строительстве в условиях вечной мерзлоты.

В дальнейшем немало места уделено характеристике вечной мерзлоты и особенностям скованных ею районов. Методы строительства и способы предохранения сооружения от деформаций основываются на знании мерзлоты, отчего глава, посвященная мерзлоте и ее особенностям, представляется крайне важной и нужной для последующих разделов труда.

Большое внимание должно быть уделено деформациям сооружений в условиях вечной мерзлоты, так как рассмотрение деформаций устанавливает, с одной стороны, влияние вечной мерзлоты на сооружения и намечает пути, по которым должна быть направлена инженерная мысль, а с другой — поясняет и иллюстрирует явления, сопряженные с наличием вечной мерзлоты.

Борьба с деформациями готовых сооружений затруднительна и часто обходится очень дорого. Вместе с тем во многих случаях деформаций можно сравнительно легко избежать, если тщательно сообразоваться с данными условиями строительства. Поэтому очень существенным моментом устойчивого строительства в условиях вечной мерзлоты являются правильные и тщательные исследования и изыскания строительной площадки, когда умелым заблаговременным выбором места строительства, основанным на знании мерзлоты, сооружение предохраняется от возможных деформаций.

Ввиду того, что исследования и изыскания строительной площадки имеют много специфического, этот вопрос получил в данной работе довольно большое развитие. Правильный выбор участка — наилучшая гарантия устойчивости сооружения.

Необходимо подчеркнуть, что успешное возведение и нормальное существование сооружения в условиях вечной мерзлоты вообще может быть достигнуто только комплексом мероприятий, а именно: правильным выбором участка после тщательных изысканий и исследований, правильным выбором устройств и конструкций сооружений, применением надлежащих материалов, правильным производством работ и, наконец, верным эксплоатационным режимом построенного.

Настоящая работа не претендует на исчерпывающую полноту и рассматривает вопросы по преимуществу со строительной точки зрения, ориентируясь в основном на промышленное и коммунальное строительство, касаясь прочих видов лишь в связи с первыми и в меру необходимости.

Последняя глава книги посвящена вопросам опытной научно-исследовательской работы. Несмотря на существование ряда опытных мерзлотных станций и большие затраты на экспериментальную научно-исследовательскую работу, единого плана деятельности этих организаций еще пока нет. По большей части эти станции принадлежат различным ведомствам и часто заняты вопросами, косвенно относящимися к строительству.

В целях скорейшего получения ответа на многие важные и до сих пор неясные вопросы необходимо объединить усилия этих станций и провести параллельно ряд аналогичных исследований. Этим путем в короткий срок могут быть получены полезные данные, корректирующие и дополняющие друг друга.

В главе VII выдвигаются те вопросы, которые могли бы быть разрешены сравнительно быстро, но для разрешения их нужно проведение экспериментов в различных условиях и в достаточно большом числе, дабы снизить влияние случайностей и возможных ошибок.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ДАННЫЕ О ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Вечной мерзлотой или вечномерзлым грунтом называется слой грунта, находящийся на некоторой глубине от дневной поверхности почвы и имеющий отрицательную температуру, непрерывно длящуюся неопределенно долгое время — от двух лет до десятков тысячелетий. [1] Таким образом вечной мерзлотой может быть назван всякий грунт, имеющий отрицательную температуру более двух лет, независимо от его рода, состава и влажности, от того, в какой фазе, т. е. в каком состоянии в этом грунте находится вода, а также содержит он или не содержит воду, находится ли в рыхлом состоянии или хорошо сцементирован замерзшей водой и является ли скалой, галечником, песком, глиной или плывуном и т. д.

Термин вечная мерзлота условен и отнюдь не подразумевает постоянства или вечности мерзлого состояния грунта. Такое название показывает только, что основной массив мерзлоты существует с незапамятных времен, доказательством чего служат найденные и находимые в вечномерзлом грунте остатки доисторических животных.

В действительности вечная мерзлота, вообще существуя в определенных районах, не остается неизменной, а подвергается в относительно небольшие промежутки времени значительным изменениям. Ряд обстоятельств случайного характера, например изменение поверхностного покрова почвы, изменение режима грунтовых вод или даже затенение данного участка почвы и т. д., способны вызвать поднятие или опускание уровня слоя вечной мерзлоты. Непостоянство глубины залегания слоя вечной мерзлоты общеизвестный факт, с которым всякий строитель должен считаться.

Над слоем вечной мерзлоты обычно располагается слой грунта, периодически меняющий свою температуру в зависимости от времени года. С наступлением зимы этот верхний слой грунта постепенно промерзает с поверхности на определенную глубину, сильно зависящую от местных условий. На большей части территории

---

[1] М. И. Сумгин, Вечная мерзлота почвы в пределах СССР, 1937, стр. 30.

распространения вечной мерзлоты промерзающий зимой верхний слой грунта в декабре — январе месяце сливается со слоем вечной мерзлоты, образуя одну мерзлую массу. В некоторых местах, где слой вечной мерзлоты залегает глубоко от поверхности земли, между слоем, промерзшим зимой, и слоем вечномерзлого грунта остается прослоек талого грунта толщиной от нескольких сантиметров до десятков метров.

Весной, с наступлением теплого периода года, замерзший зимой верхний слой грунта начинает оттаивать с поверхности, и по мере поступления тепла оттаивание идет вглубь до тех пор, пока приток тепла не прекратится и его не сменит новая волна холода. Наиболее глубокое протаивание бывает обыкновенно в сентябре — октябре.

Слой грунта, лежащий над вечной мерзлотой, ежегодно замерзающий и оттаивающий, называется деятельным слоем, так как в нем, главным образом, происходят физико-динамические процессы, влияющие на прочность и устойчивость сооружений. Ниже слоя вечной мерзлоты залегает слой грунта с положительной температурой, постепенно повышающейся по мере углубления в порядке геотермического градиента под влиянием теплоты, идущей из глубинных слоев земной коры.

Таким образом слой вечной мерзлоты ограничен снизу поверхностью, имеющей всегда температуру 0°, а сверху — поверхностью, имеющей температуру 0° в период наибольшего протаивания зимней мерзлоты. Эти поверхности с нулевой температурой называются верхней и нижней границами вечной мерзлоты. Расстояние между этими поверхностями есть мощность слоя вечной мерзлоты.

Мощность слоя вечной мерзлоты в разных районах весьма различна; она колеблется от нескольких сантиметров у южных пределов ее распространения до нескольких сотен метров на крайнем севере.

Грунты, имеющие отрицательную температуру, но не содержащие воды или включающие ее очень мало, а поэтому не смерзшиеся и оставшиеся сыпучим телом, называются в отличие от вечномерзлых грунтов сухой мерзлотой. Чаще всего это скальные, гравелистые или песчаные грунты.

Под термином деградация вечной мерзлоты подразумевается процесс перехода слоя вечной мерзлоты, по тем или иным причинам, в талое состояние. Поэтому деградирующей вечной мерзлотой можно считать такую мерзлоту в данном районе, у которой температура грунта постепенно из года в год повышается, что может быть установлено тщательными наблюдениями температурного режима грунта. К сожалению степень и скорость деградации неизвестны.

Происхождение вечной мерзлоты еще не совсем выяснено. Большинство лиц, занимающихся этим вопросом, склонны считать, что вечная мерзлота образовалась в недавний период существования земли. Для строителя вопрос о происхождении вечной мерзлоты практического значения не имеет.

Часто, говоря о влажности слоя вечной мерзлоты, а также о деятельном слое, грунты, слагающие эти слои, характеризуют как

переувлажненные. Под **переувлажненными грунтами** подразумевают такие грунты, которые включают больше влаги, чем это соответствует их полной влагоемкости. Состояние полной влагоемкости характеризуется тем, что все поры или пустоты между частицами грунта заполнены водой.

§ 2. ГЕОГРАФИЯ, МОРФОЛОГИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Площадь распространения вечной мерзлоты в СССР составляет по новейшим данным М. И. Сумгина в круглых цифрах 10 млн. *км*^{2}, т. е около 47% всей территории Союза. Пределы распространения вечной мерзлоты указаны на прилагаемой карте (фиг. 1).

В северной части района, занятого вечной мерзлотой, имеется массив географически сплошного распространения вечной мерзлоты, обычно залегающей мощным слоем. Южнее появляются отдельные пространства без вечной мерзлоты, так называемые острова таликов; еще южнее (около южной границы) встречаются уже только острова и гнезда, т. е. небольшие участки мерзлого грунта среди сплошного талого грунта.

Общий характер вечной мерзлоты подобен во всех районах, однако более южная часть массива вечной мерзлоты имеет гораздо более высокую температуру и вследствие этого несколько отличается от мерзлоты, расположенной на севере. Южная граница вечной мерзлоты ориентировочно проходит в европейской части СССР, несколько севернее Мезени, и идет к югу, пересекая реку Печору на широте Полярного круга; далее, проходя через Уральский хребет на 65-й широте, она пересекает реку Обь в 250 *км* севернее слияния Оби с Иртышом и несколько южнее г. Березова. От Березова южная граница вечной мерзлоты направляется к Туруханску и, перейдя на правый берег Енисея, круто идет к югу, проходя между г. Канском и Красноярском, а затем уходит западнее г. Иркутска за государственную границу СССР. Далее она снова появляется на востоке, входя в пределы СССР западнее Хабаровска, направляется к устью р. Селемджи, идет по левому берегу Амура и, пересекая последний около озера Кизи, выходит в Татарский пролив.

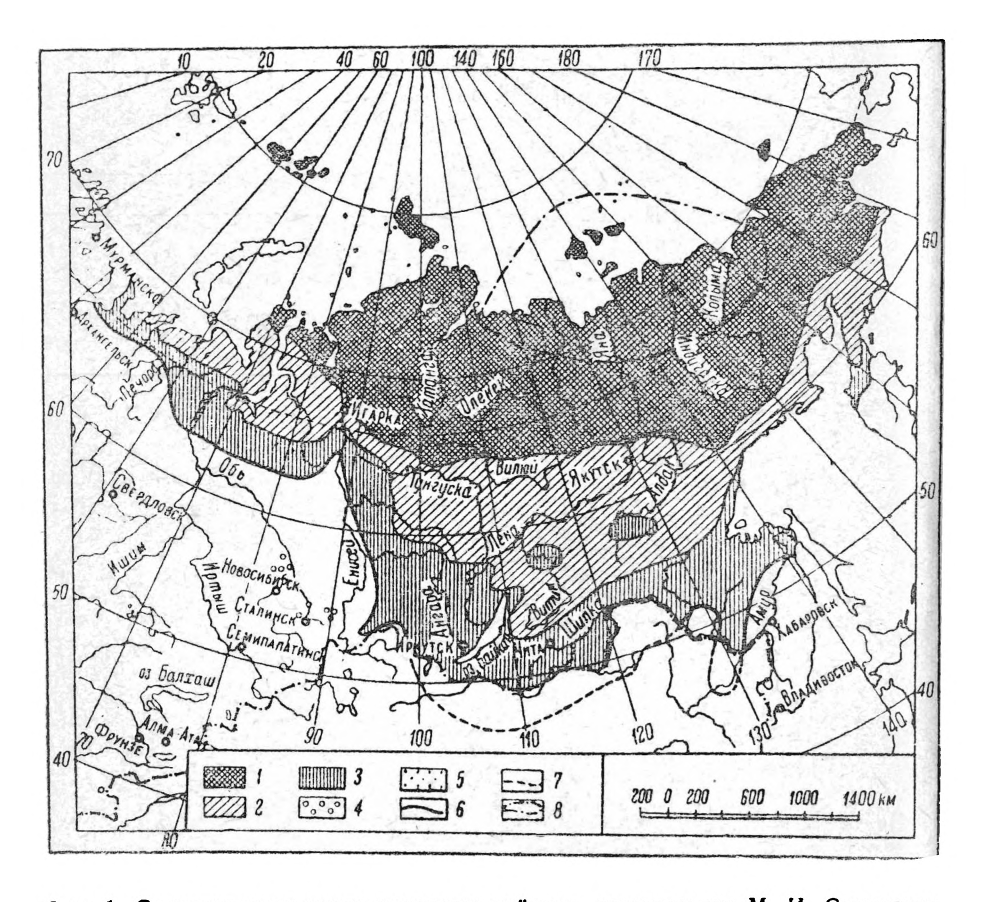
По вертикальному распространению вечная мерзлота встречается двух основных видов:

1) непрерывная, или сплошная, имеющая один слой той или иной мощности, и

2) слоистая — прерываемая прослойками талого грунта; на Игарке, например, инж. Н. И. Быков в скважине глубиной в 62 *м* наблюдал пять талых слоев среди мерзлого грунта.

В свою очередь каждый из этих основных видов мерзлоты может иметь две разновидности. Первая разновидность наблюдается тогда, когда верхний слой грунта, лежащего над мерзлотой, зимой совершенно промерзает и вся толща грунта от поверхности земли до нижней границы вечной мерзлоты образует один мерзлый слой. Эту разновидность мерзлоты принято называть сливающейся.

Второй разновидностью является тот случай, когда между слоем зимнего промерзания и верхней границей вечной мерзлоты остается всегда талый прослоек грунта. Мерзлота такого вида называется *несливающейся*.



Фиг. 1. Схематическая карта мерзлоты районов, выделяемых М. И. Сумгиным, по признакам температуры мерзлых грунтов.

1 — район с температурами грунта на глубине 10—15 *м* преимущественно ниже —5°; *2* — район с температурами грунта на глубине 10—15 *м* преимущественно в пределах от —5° до —1,5°; *3* — район с температурами грунта на глубине 10—15 *м* преимущественно выше —1,5°; *4* — отдельные острова вечной мерзлоты; *5* — вечная мерзлота только в буграх торфяных боло ; *6* — южная граница вечной мерзлоты в пределах СССР; *7* — предполагаемая южная граница вечной мерзлоты вне пределов СССР; *8* — граница, замыкающая районы значительных толщ льда в вечномерзлой толще.

Таким образом, в отношении вертикального залегания можно различать вечную мерзлоту:

1) непрерывную сливающуюся;
2) непрерывно несливающуюся;
3) слоистую сливающуюся;
4) слоистую несливающуюся.

В соответствии с этим залегание вечной мерзлоты может быть представлено четырьмя схематическими геологическими разрезами, изображенными на фиг. 2.

Мощность слоя вечной мерзлоты весьма различна не только в разных районах, но и в пределах данного района она может сильно колебаться в зависимости от многочисленных обстоятельств.

Мощность слоя вечной мерзлоты не остается постоянной и подвергается изменениям в ту или иную сторону, чаще всего вследствие изменения режима грунтовых вод в данном месте или состояния поверхностного покрова почвы и растительности. Очевидно, что поверхности, составляющие верхнюю и нижнюю границы вечной мерзлоты, не могут представлять собой плоскостей, а имеют случайную неправильную форму.

Форма верхней границы зависит от рельефа местности, от положения ее относительно стран света, от поверхностного покрова местности (лес, кустарник, трава, мох, торф, пашня, дорога и т. п.), от геологического строения и от гидрологических условий местности; иначе говоря, форма верхней границы имеет свой микрорельеф, отличающийся от микрорельефа дневной поверхности. Это обстоятельство вызывает неравномерное и неодновременное промерзание толщи деятельного слоя, что в свою очередь обусловливает неравномерность пучения грунта и образование грунтовых наледей.

1)
Слой зимнего промерзания
В.Г.В.М.
Мощный слой вечной мерзлоты
Н.Г.В.М.
2)
Слой зимнего промерзания
В.Г.В.М.
Талый слой
Мощный слой вечной мерзлоты
Н.Г.В.М
3)
Слой зимнего промерзания
Слой мерзлоты
Талый слой
Слой мерзлоты
Талый слой
4)
Слой зимнего промерзания
Талый слой
Слой мерзлоты
Талый слой
Слой мерзлоты
Талый слой

Фиг. 2.

О форме нижней границы вечной мерзлоты, за недостатком надлежащих исследований в этой области, в настоящее время не представляется возможным дать какие-либо определенные сведения; впрочем этот вопрос в огромном большинстве случаев никакого значения для устойчивости и прочности сооружений не имеет.

Верхняя граница слоя вечной мерзлоты непостоянна и изменяется по вертикали от многих случайных причин даже при естественном режиме местности. Деятельность человека почти всегда отражается на положении верхней границы слоя вечной мерзлоты и, в зависимости от тех или иных причин, может повести или к отступлению верхней границы вглубь почвы или иногда способство-

вать ее поднятию к дневной поверхности, т. е. изменить мощность слоя вечной мерзлоты.

Некоторое представление о разнообразии в толщинах слоя вечной мерзлоты дают следующие цифры. Например, мощность слоя вечной мерзлоты оказалась: на крайнем севере Сибири в Амдерме — более 274 *м* (насквозь не пройдена), в Якутске — больше 136 *м* (не пройдена), на Бушулее — 67 *м*, в Петровске Забайкальском — 49 *м*, в Сковородино — 50 *м*, на Талдане — 71 *м*, в районе Тайшет-Падун — около 1—2 *м*, в Зилово — 46 *м*, в Могзоне — 51 *м*. Из приведенного видно, что в более южных районах мощность слоя вечной мерзлоты сильно падает.

Мощность слоя вечной мерзлоты представляет известный интерес для строителя в том отношении, что при возведении сооружений по принципу сохранения мерзлоты необходимо считаться с мощностью слоя. При малой мощности мерзлоты мало вероятно, что этот слой сохранится в мерзлом состоянии.

Температура слоя вечной мерзлоты изучена еще недостаточно. А между тем данные о температуре вечной мерзлоты имеют весьма большое значение для строителей, работающих в районе вечной мерзлоты, так как определение, в связи с мощностью вечной мерзлоты, запаса холода в грунте служит одним из главных руководящих соображений для решения вопросов о возможности сохранения вечной мерзлоты под сооружением или о возможности ее уничтожения естественным или насильственным путем. Кроме того сведения о температуре необходимы и для суждения о прочности вечномерзлого грунта. Наконец, данные о температуре мерзлого грунта полезны для выяснения вопроса об осадках грунта. Чем ниже температуры мерзлого грунта, тем прочнее грунт и тем легче достигнуть сохранения мерзлоты в основании сооружения.

Можно заметить, что температура вечной мерзлоты около —0,5° и выше не обеспечивает возможности сохранения мерзлоты в основании сооружения, а температура в пределах от +0,0° до —0,3° таит опасность проявления значительных осадок мерзлого грунта под нагрузкой.

Температура слоя вечной мерзлоты в верхней его части не сохраняется на одном уровне, а колеблется в зависимости от времени года и от некоторых случайностей.

Имеющиеся данные позволяют ориентировочно районировать вечную мерзлоту по ее температуре следующим образом.[1]

I. Район к северу от г. Мезени — температура не ниже —0,5°.

II. Район правого притока Печоры — реки Усы в нижнем ее течении до устья р. Воркуты — 1°.

III. Район к востоку от северной части Уральских гор до Тазовской губы от —3° до —5°.

IV. Район от Тазовской губы до Анабара от —5° до —7°.

V. Район от Анабара до Колымы на юге (до 64 параллели) от —6° до —8°.

VI. Район Анадырского лимана —5°.

---

[1] Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основания механики мерзлых грунтов, 1937, стр. 308.

VII. Район к западу от Байкала в местах, где имеется вечная мерзлота, выше —0,5°.

VIII. Район к востоку от Байкала до побережья Тихого океана, на юг до государственной границы, не ниже —1,5°, как правило выше.

На основании предыдущего все районы можно разбить на три группы: северную с температурой вечной мерзлоты ниже —5°, среднюю с температурой от —5° до —1,5° и южную с температурой выше —1,5°.

Грунты, скованные вечной мерзлотой, могут быть самыми разнообразными, но наиболее опасные для сооружений и наиболее трудно разрабатываемые грунты это пылеватые, илистые, обильно влажные, при протаивании превращающиеся в плывун; к этим грунтам примыкают глинистые и мелкопесчанистые грунты. Крупнопесчанистые и особенно гравелистые или галечные грунты, относящиеся к хорошо дренирующим грунтам, несколько лучше, если только они не содержат больших включений чистого льда (погребенные льды). Качество вечномерзлого грунта расценивается с точки зрения способности давать значительные осадки при его протаивании под сооружением и с точки зрения трудности его разработки.

Обычные грунты слоя вечной мерзлоты, чаще всего встречающиеся, это суглинки и супеси с большим содержанием пылеватых частиц.

Вечномерзлый грунт весьма прочен пока он не оттаял. Вода, пропитавшая грунт и смерзшаяся с ним, настолько сильно цементирует его и образует такую твердую массу, что разработка грунта становится весьма затруднительной. Вечную мерзлоту почти нельзя разрабатывать киркой или ломом; приходится обращаться к взрывным работам или к оттаиванию мерзлоты при помощи пожогов (костров), а иногда естественным теплом — воздействием солнца.

Сильно влажные пылеватые илистые грунты, протаивая летом при разработке и превращаясь в плывун, препятствуют работе, так как по такому грунту нельзя перемещаться. Люди, лошади, повозки и машины тонут в образовавшемся жидком грунте.

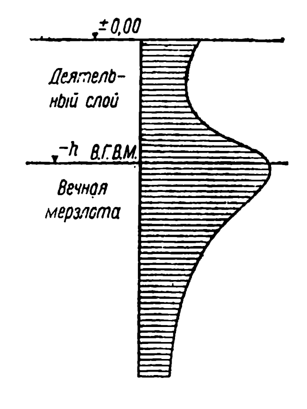
Данные о влажности грунтов слоя вечной мерзлоты весьма существенны, так как процент влажности имеет значение для суждения о способах разработки грунта, о величине возможной осадки его под нагрузкой, а также оказывает влияние на прочность грунта в мерзлом состоянии.

Для механических свойств мерзлого грунта наиболее благоприятное содержание воды находится приблизительно в следующих пределах в процентах заполнения пустот водой:

для чистого песка	75%
для чистой глины .	45%

Что касается влияния влажности на осадку оттаявшего грунта, то уже 30—35 влажности, что соответствует полной влагоемкости обычных грунтов слоя вечной мерзлоты, представляют некоторую опасность. Малые осадки могут быть только при влажности

равной приблизительно $^2/_3$ от полной влагоемкости. Говоря о влажности мерзлого грунта, часто слово влажность заменяют словами льдистость или льдонасыщенность, что в отношении вечномерзлых грунтов одно и то же, если иметь в виду весовую влажность, а не объемную. Распределение влаги в слое вечномерзлого грунта в общем разнообразно. Однако наиболее увлажненной частью обычно является верхняя граница слоя вечной мерзлоты. Очень часто поэтому при возведении сооружения может оказаться рациональным пройти верхний сильно влажный слой вечной мерзлоты и заложить фундаменты несколько (на 1—2 *м*) ниже верхней границы вечной мерзлоты на гораздо менее влажном, хотя и мерзлом грунте. Характерное распределение влаги в слое вечной мерзлоты и в деятельном слое показано на фиг. 3.



Фиг. 3. Характерная влажность грунтов деятельного слоя и слоя вечной мерзлоты.

Механическая прочность мерзлых грунтов представляет для инженера-строителя большой интерес.

Весьма тщательные и довольно подробные испытания механической прочности мерзлых грунтов были проведены Н. А. Цытовичем.[1] Эти опыты, а также испытания И. С. Вологдиной и ряда других лиц показывают, что временное сопротивление сжатию мерзлых грунтов вообще гораздо выше, чем для обычных талых грунтов, и зависит как от температуры, влажности или льдонасыщенности, так и от механического состава грунта.

Большинство опытов дает возможность сделать следующие заключения.

1. При прочих равных условиях песчаные грунты обладают бо́льшим сопротивлением сжатию, чем глинистые.
2. Увеличение влажности грунта до предела, соответствующего полному заполнению пустот в грунте, повышает прочность грунта.
3. Увеличение влажности грунта выше этого предела не повышает прочности и часто ведет даже к уменьшению прочности мерзлого грунта.
4. Понижение температуры мерзлого грунта влечет за собой увеличение его прочности.

Некоторое представление о механической прочности разных видов мерзлого грунта при различной температуре и относительно невысокой льдонасыщенности дает табл. 1, составленная по данным Н. А. Цытовича.

Приведенные в табл. 1 данные подтверждают сказанное ранее о влиянии механического состава грунта и температуры на прочность. Это данные лабораторные, поэтому они могут служить лишь

[1] Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основания механики мерзлых грунтов, 1937, стр. 150.

для общей ориентировки, а для точных окончательных практических расчетов непригодны.

Табл. 2 дает представление о временном сопротивлении различных грунтов при таких температурах, которые ближе подходят к температурам естественных мерзлых грунтов, так как температуры —4° и ниже в естественных условиях встречаются крайне редко; тем не менее и эти данные, подобно предыдущим, должны считаться ориентировочными.

Таблица 1

Временное сопротивление сжатию мерзлого грунта

Наименование грунта	Температура °C	Весовая влажность %	Временное сопротивление сжатию *кг/см²*
Песок	— 1	17	62
	— 3	17	78
	— 6	17	99
	— 9	17	118
	—12	17	134
	—20	17	152
Глина	— 0,3	43	6
	— 1,5	48	16
	— 5	21	44
	—12	17	50
	— 0,3	59	5
Пылевато-илистый грунт	— 1,1	20	28
	— 5	30	30
	—10	61	35

Данные табл. 2 тоже взяты из лабораторных опытов Н. А. Цытовича. Они получены им для грунтов с таким содержанием влаги, которое более или менее соответствует полному заполнению пор грунта льдом.

Таблица 2

Временное сопротивление сжатию мерзлых грунтов при полном заполнении пор грунта льдом

Вид грунта	Временное сопротивление сжатию *кг/см²*		
	до —0,5° C	от—0,5 до 1,5°C	от 1,5 до 2° C
Песок	22	27	36
Супесь	11	22	—
Суглинок	10	20	26
Глина	6	17	25
Пылевато-илистый грунт	5	15	23

Оттаявшая мерзлота, особенно при переувлажненных глинистых и пылеватых грунтах резко меняет свои механические свой-

ства. Часто при оттаивании прочность грунта падает до нуля, грунты дают очень большие осадки.

Деятельный слой, по крайней мере в нижней своей части обычно сложен из грунтов, подобных слою вечной мерзлоты Мощностью деятельного слоя при сливающейся мерзлоте следует считать глубину наибольшего протаивания грунта, достигающег максимума к концу теплого периода. При несливающейся мерзлот мощностью деятельного слоя является глубина наибольшег промерзания грунта, имеющая максимум к началу теплого пе риода года.

Мощность деятельного слоя (слоя зимнего промерзания и лет него протаивания) зависит от целого ряда условий, главным обра зом от климата, от характера грунта, от растительного покрова от степени влажности грунта. Чем южнее местность, тем, при про чих равных условиях, больше мощность деятельного слоя.

В песчаных, галечных и гравелистых грунтах мощность дея тельного слоя наибольшая, в торфяно-болотных — наименьшая Глинистые грунты занимают среднее положение.

Мощный моховой покров чрезвычайно уменьшает деятельный слой, сводя его, например, на крайнем севере до 20 *см*. В сухи почвах деятельный слой больше, во влажных меньше.

На основании имеющихся наблюдений можно ориентировочно дать следующие средние цифры мощности деятельного слоя. В песчаных грунтах южнее 55-й параллели деятельный слой дости гает 3—4 *м*, на параллели Якутска 2—2,4 *м*, на сибирском побе режье Ледовитого океана 1,2—1,6 *м*; в торфяно-болотистых поч вах южнее 55-й параллели 0,8—1 *м*, а на крайнем севере 0,2—0,4 *м* в глинистых грунтах — промежуточные цифры.

Следует иметь в виду, что приведенные величины были най дены при наблюдениях в естественных условиях при обычном ре жиме местности и что нарушение этого режима, неизбежное при появлении человека и при его хозяйственной деятельности, влече за собой изменение мощности деятельного слоя.

Во всякой местности, при прочих равных условиях, мощност деятельного слоя на 0,5—1 *м* больше при оголенной поверхност грунта, чем при поверхности, сохраняющей естественное состояни своего верхнего покрова.

Влажность деятельного слоя не одинакова по его высоте и за висит от многих обстоятельств. Все же характерно некоторое до вольно сильное увеличение влажности в нижней части этого слоя непосредственно над слоем мерзлоты.

Влажность деятельного слоя имеет значение для строителя том отношении, что ею в значительной мере определяется про ность смерзания этого слоя с проходящими через него фундаме тами. Кроме того содержание воды в деятельном слое отчаст характеризует способность грунта подвергаться пучению.

Температура грунта деятельного слоя всецело зависит от вр мени года и от температурного режима местности. Влияние соста грунта и его влажности на температуру и особенно на скорос проникновения температуры в толщу деятельного слоя изуче мало. Однако можно заметить, что более влажные грунты проме

зают медленнее и менее глубоко, чем сухие, вследствие того, что часть холода, поступающего в грунт, затрачивается во влажных грунтах на превращение воды в лед.

Для строителей интересным является то обстоятельство, что минимум температуры в грунтах деятельного слоя запаздывает против минимума средних месячных воздуха на 2—3 месяца. Почти то же наблюдается и в отношении максимума температуры.

Это обстоятельство очень хорошо представлено данными табл. 3 о средних температурах почвы на мерзлотной станции. Из табл. 3 видно, что отрицательная температура в деятельном слое на глубине в 2 *м* появляется только в декабре, тогда как заморозки наступают уже в конце сентября, в октябре месяце. С другой стороны, положительная температура на этой же глубине сменяет отрицательную только в августе, хотя морозы прекращаются в мае.

Таблица 3

Средние температуры грунта деятельного слоя в °С

Глубина от поверхности земли, *м*	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,40	—12,9	—13,0	—9,1	—3,3	+0,3	+6,2	+10,7	+11,8	+7,4	+1,5	—2,2	—8,6
0,80	— 8,3	— 9,6	—7,6	—3,5	—0,9	+1,6	+ 6,4	+ 8,5	+6,4	+1,6	—0,0	—3,4
1,60	— 0,9	— 3,5	—4,3	—2,9	—1,4	—0,9	— 0,4	— 1,3	+2,4	+1,0	+0,1	0,0
2,00	— 0,4	— 1,9	—3,2	—2,6	—1,5	—1,0	— 0,7	— 0,0	+1,0	+0,6	+0,1	0,0

Факт образования в определенный период года, в декабре — январе, верхнего мерзлого слоя толщиной в 1—1,5 *м*, ниже которого еще сохраняется некоторое время талый прослоек от 1 до 0,5 *м*, тогда как еще ниже располагается слой вечной мерзлоты, имеет очень большое значение для строителя в том отношении, что этот талый прослоек, включающий незамерзшую воду, способен питать этой водой пучащийся при замерзании грунт, причем вода, придавленная замерзшей коркой грунта, оказывается под напором. Кроме этого талый прослоек грунта способствует и наледным процессам.

Деятельный слой, замерзая зимой, прочно смерзается с опорами сооружений. При деформациях деятельного слоя, например, при пучении его, грунт увеличиваясь в объеме, деформирует опору, поднимая ее. При слабом смерзании грунта с опорой пучащийся слой отрывается от опоры и никакого влияния на сооружение не оказывает.

Таким образом, прочность смерзания имеет значение для строителя как некоторый фактор, оказывающий влияние на устойчивость сооружения.

Прочность смерзания деятельного грунта с различными опорами сооружений исследована мало. Имеющиеся лабораторные данные дают лишь некоторое представление об этой величине; опытных же

данных в естественных условиях было получено очень мало и п этом не все из них заслуживают внимания, так как они недос точно достоверны. Тем не менее можно считать выясненным с дующее.

1. Лабораторные данные дают значительное преувеличен прочности смерзания; на самом деле она гораздо ниже.

2. Прочность смерзания неодинакова по высоте деятельно слоя.

Таблица 4

Силы смерзания (временная прочность) грунта с деревом при различных температурах для разных грунтов

Грунт	Температура °С	Весовая влажность %	Сила смерзания *кг/см²*
Лед . .	— 1	—	5,0
	— 5	—	6,2
	— 7	—	11,6
	—10	—	13,7
	—20	—	22
Глинистый грунт .	— 0,2	27	2,9
	— 1,5	27	2,9
	— 5,8	28	11,1
	— 10,8	28	18,6
Супесчаный грунт . .	— 0,2	12	1,3
	— 1,2	13	7,0
	— 5,2	15	19,6
	— 10,7	14	24,7
Пылевато-илистый грунт . .	— 0,2	30	3,6
	— 0,5	33	6,1
	— 5,7	34	10,6
	— 10,3	33	14,3
Гравий с коэфициентом насыщения водой 77% .	— 10	—	2,6
Чистая галька с коэфициентом насыщения водой 79% . .	— 10	—	0,9
Галька, все поры которой заполнены льдом . .	— 9,5	28	27,3
Галька, все поры которой заполнены глиной . .	— 10,2	24	30,6

3. Опасное для сооружения смерзание происходит не по вс высоте деятельного слоя, а имеет место только на части деятел ного слоя.

4. Величина сил смерзания увеличивается с понижением темп ратуры грунта, при прочих равных условиях.

5. Величина сил смерзания возрастает с увеличением влажнос до некоторого предела, соответствующего полной влагоемкос

грунта. При переувлажнении грунта сила смерзания снижается по отношению к максимуму.

6. Для песка и песчаных грунтов при одинаковой степени насыщения водой сила смерзания больше, чем для глины и глинистых грунтов.

Влияние температуры и состава грунта на силы смерзания грунта с деревом, пропитанным водой, можно видеть по данным табл. 4, взятым из лабораторных опытов Н. А. Цытовича. Эти цифры не вполне характеризуют силы смерзания, имеющие место в природных условиях, но хорошо показывают относительную величину сил смерзания для различных условий.

Данные, приведенные в табл. 4, могут служить только для иллюстрации влияния характера грунтов и температуры на величину сил смерзания и ни для каких расчетов не пригодны.

По существу этих данных необходимо заметить, что последние два значения для сил смерзания гальки, все поры которой заполнены льдом, а также гальки, все пустоты между которой заполнены глиной, не заслуживают особенного доверия.

Во-первых, чистая галька с коэфициентом насыщения водой, равным 79%, по этой же таблице и при той же температуре имеет прочность смерзания только 0,9 *кг/см*², тогда как галька, поры которой заполнены льдом, имеет прочность смерзания 27,3 *кг/см*², т. е. в 30 раз больше первой. Этого не может быть, ибо влажность в первом и во втором случае разнится не так уже сильно.

Во-вторых, мало вероятно, что чистая галька, у которой прочность смерзания определяется, главным образом, прочностью смерзания льда с деревом, так сильно превышает эту последнюю (на 27,3—13,7 = 13,6 *кг/см*², т. е. в два раза).

Точно так же трудно предположить, что прочность смерзания гальки, все поры которой заполнены глиной, так сильно увеличивается, что почти в два раза превышает прочность смерзания глины при той же температуре и при той же влажности.

Очевидно, что по каким-то случайным обстоятельствам эти цифры преувеличены. Однако они интересны тем, что показывают на возможность довольно сильного увеличения сил смерзания при заиливании гальки.

На величину сил смерзания по новейшим данным Н. А. Цытовича очень большое влияние оказывает способ приложения нагрузки. При быстром возрастании нагрузки результаты опытов дают прочность смерзания выше, чем при медленном. В первом случае для нарушения смерзания требуется сила по крайней мере в 2—3 раза большая, чем во втором. Это обстоятельство Н. А. Цытович объясняет пластичностью замерзшего грунта.

§ 3. ГЛАВНЕЙШИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНОВ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА СТРОИТЕЛЬСТВО

Грунты деятельного слоя часто оказываются весьма влажными и нередко переувлажненными. Высокая влажность верхних слоев грунта весьма характерна для районов, занятых вечной мерзлотой.

При глубоком залегании слоя вечной мерзлоты высокая влажность деятельного слоя определяется тем, что он сложен из таких грунтов, которые очень слабо отдают воду соседним слоям. В других случаях переувлажнение деятельного слоя наблюдается вследствие того, что верхние слои грунта подстилаются неглубоко залегающей скалой, не пропускающей воду вовсе или пропускающей ее весьма мало. Наконец, во всех случаях, когда деятельный слой непосредственно подстилается вечномерзлым грунтом или если последний залегает неглубоко, образуя небольшой талый прослоек грунта между деятельным слоем и верхней границей вечной мерзлоты, верхние слои грунта переувлажнены из-за того, что слой вечной мерзлоты практически водонепроницаем.

Очевидно, во всех упомянутых случаях и особенно в последнем, т. е. везде, где в районах вечной мерзлоты выпадает в летнее время значительное количество осадков, часто наблюдается большое количество грунтовых вод с горизонтом очень близким к поверхности земли, и весь верхний слой грунта является, как правило, сильно увлажненным. При соответствующем механическом составе он нередко представляет собой так называемый плывун, т. е. насыщенный водой очень мелкий песок или пыль, иногда с примесью значительного количества ила.

Помимо того, что гравитационная вода в грунте стремится опуститься по закону силы тяжести до верхней границы вечной мерзлоты, низкая температура последней обусловливает постоянную конденсацию на своей поверхности водяных паров из деятельного слоя во время его талого состояния. Поэтому грунты деятельного слоя, расположенные непосредственно у верхней границы вечной мерзлоты, являются особенно сильно переувлажненными.

В сильно влажном деятельном слое при его промерзании и оттаивании развивается ряд физико-динамических процессов, которые и являются одной из главнейших причин деформаций сооружений. При замерзании воды, содержащейся в грунте, происходит пучение, выражающееся поднятием вверх вышележащих слоев грунта, а вместе с ними и фундаментов, столбов, свай и других частей сооружений. Выпучивание наблюдается иногда на несколько десятков сантиметров.

Пучению подвергаются весьма значительные поверхности земли. По свидетельству инж. В. В. Еленевского, производившего нивеллировку пней на болотистом участке, оказалось, что вертикальные перемещения отдельных пней от пучения достигали 45 *см*. Это обстоятельство, помимо непосредственного воздействия на сооружения, возведенные в условиях сильно пучащегося грунта, имеет значение для строителя и в том отношении, что при топографических работах отметки поверхности почвы, заснятые зимой, будут резко отличаться от отметок поверхности почвы летом. Поэтому зимняя нивеллировка почти всегда приводит к значительным ошибкам.

При неравномерном с двух сторон фундамента промерзании грунта возникает одностороннее горизонтальное давление, которое, как показала практика, при известных обстоятельствах может до-

стичь значительной величины, достаточной для разрушения фундамента, не рассчитанного на такую силу.

При наступлении зимнего промерзания грунта находящиеся в нем грунтовые воды оказываются зажатыми между водонепроницаемыми слоями вечной мерзлоты снизу и постепенно нарастающей зимней мерзлоты сверху. Гидростатическое давление при этом достигает иногда чрезвычайно большой величины.

Под действием гидростатического давления вода ищет выхода на поверхность, устремляется в места еще почему-либо не замерзшие, например под сооружениями, или вообще туда, где грунт еще не успел промерзнуть на большую толщину, и, прорывая верхний слой грунта, выливается на поверхность или под сооружение, образуя так называемые грунтовые наледи.

Вода, соприкасающаяся с вечной мерзлотой, отдавая ей свою тепловую энергию, стремится вывести ее из мерзлого состояния, и, наоборот, вечная мерзлота, поглощая тепловую энергию воды, стремится превратить воду из жидкого тела в твердое, т. е. в лед. В результате, как говорит М. И. Сумгин, для каждого района в области вечной мерзлоты при данных климатических условиях устанавливается некоторое подвижное равновесие между количеством наземной и грунтовой воды в жидком виде, с одной стороны, и характером вечной мерзлоты — степенью ее географической и геологической непрерывности и ее мощностью и температурой — с другой. Это обстоятельство указывает на чрезвычайную важность для строителя тщательного изучения гидрологии и гидрогеологии данного района и точного учета этого при проектировании и при возведении любых сооружений.

Наличие вечной мерзлоты обусловливает (по Н. И. Толстихину) разделение всех подземных вод в районе вечной мерзлоты по их характеру на три взаимно связанные типа: надмерзлотные, подмерзлотные и межмерзлотные.

Надмерзлотные воды залегают на вечной мерзлоте как на водоупорном основании. В большинстве случаев они, в зависимости от времени года, находятся то в жидком, то в тердом состоянии, но в тех случаях, когда зимнее промерзание (т. е. деятельный слой) не доходит до верхней границы вечной мерзлоты, надмерзлотные воды остаются круглый год в жидком состоянии. При замерзании деятельного слоя надмерзлотные воды служат причиной деформации земной поверхности — образования наледных бугров, пятен-медальонов и т. п.

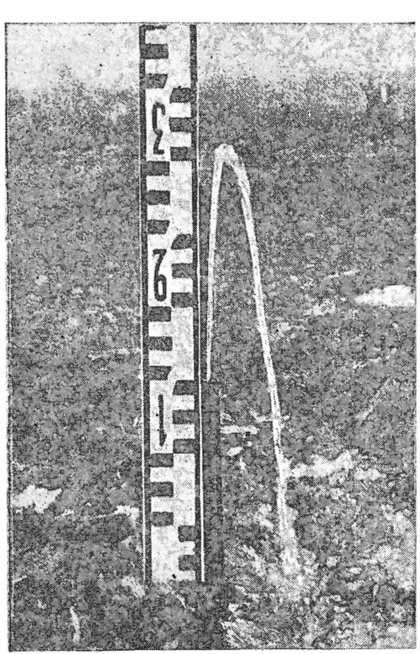
Межмерзлотные воды залегают в пределах вечной мерзлоты. Они характеризуются устойчивым состоянием твердой и жидкой фаз во времени. Межмерзлотные воды в жидком состоянии самостоятельного бытия не имеют и служат связью между надмерзлотными и подмерзлотными водами.

Подмерзлотные воды залегают под вечной мерзлотой, часто на значительной глубине, и для них характерно отсутствие твердой фазы и наличие постоянного напора. Вследствие этого подмерзлотные воды нередко, при благоприятных условиях, прорывают слой мерзлоты и выходят на поверхность земли в виде не-

прерывно действующих ключей. Зимой ключи во многих случаях не промерзают и служат причиной образования ключевых наледей.

Наличие напорных вод и влажность грунтов очень хорошо характеризуются фиг. 4, на которой представлен один из фонтанов появившихся в районе Уруши вблизи станционных зданий весной 1912 г.

В состав подземных вод в пределах слоя вечной мерзлоты входит и вода в твердой фазе, т. е. лед. Этим подземные воды области вечной мерзлоты отличаются от подземных вод областей, где нет вечномерзлых грунтов.



Фиг. 4. Фонтан грунтовой воды высотой более 1 *м*.

Лед в толще грунта ниже деятельного слоя чаще всего встречается в следующих видах (по М. И. Сумгину).

1. Погребенные льды, т. е. льды, образовавшиеся на дневной поверхности и затем попавшие тем или иным путем в толщу грунта. Сюда относятся:

а) занесенные грунтом ледяные массы, оставшиеся от ледниковых эпох. Этот вид льда занимает обширные площади и встречается на Новосибирском архипелаге, на побережье Северного Ледовитого океана к востоку от устья р. Лены и на водоразделе Лена — Алдан;

б) лед, образовавшийся от занесенных грунтом скоплений снега (снежников). Площади этих льдов незначительны и встречаются на севере;

в) лед занесенных грунтом наледей. Этот вид льда встречается по всей области вечной мерзлоты. Характерным признаком его является слоистость. Площади, занимаемые таким льдом, невелики, но мощность его может быть значительна;

г) лед занесенных грунтом замерзших озер;

д) лед речной, выброшенный на берег и занесенный грунтом;

е) то же морской лед.

2. Ледяные массы, образовавшиеся от замерзания воды в самом грунте. Сюда относятся:

а) лед, образующийся внутри наледных бугров. Площади, занимаемые таким льдом, незначительны;

б) лед, получившийся от замерзания надмерзлотных вод. Такие льды не образуют мощных пластов, но могут занимать значительные площади;

в) лед, получившийся от замерзания межмерзлотной воды;

г) ледяные кристаллы и тонкие прослойки, образовавшиеся

в результате замерзания воды, увлажнявшей когда-то талые слои грунта, перешедшие затем в вечномерзлое состояние.

При протаивании по тем или иным причинам неглубоко залегающих погребенных льдов или перенасыщенных льдом грунтовых масс, поверхность земли оседает, впадина заполняется поверхностной водой и образуется так называемое «провальное озеро». Провальные озера невелики и часто меняют свои размеры из-за продолжающегося в грунте протаивания линз и прослоек льда. В воде провальных озер часто оказываются деревья и кусты, осевшие вместе с почвой.

Таким образом наличие провальных озер сигнализирует о ненадежности в мерзлотно-геологическом смысле данной местности для строительства и о необходимости подвергнуть ее тщательному обследованию в целях выяснения размеров и расположения погребенных льдов.

Сохранение погребенных льдов в местах, подвергающихся освоению человеком, задача весьма затруднительная и неопределенная, ибо существование льда в значительной мере определяется установившимся режимом грунтовых вод, отчасти характером местности и поверхностным покровом почвы.

Протаивание погребенных льдов очень часто происходит в местах совершенно ненарушенных вторжением человека под влиянием местных, случайных, независящих от человека причин. Это устанавливается существованием упомянутых ранее провальных озер. Тем более трудно сохранить погребенные льды в местах, где деятельность человека меняет режим грунтовых вод или другими способами нарушает естественно-исторические условия существования местности.

Сохранение погребенных льдов под зданиями вообще мало вероятно. Под земляными сооружениями можно пытаться, особенно при залегании погребенных льдов на глубине более 5—6 *м* от поверхности почвы, сохранить их, но не во всех случаях.

Выяснение вида ледяных масс, залегающих в грунте, имеет большое практическое значение, так как в зависимости от происхождения льда и его размеров по горизонтальному и вертикальному направлениям принимаются те или иные меры для предотвращения или ослабления вредного его влияния на устойчивость сооружений.

Одним из весьма распространенных и характерных явлений гидрологии района вечной мерзлоты являются н а л е д и или по якутски «тарыны».

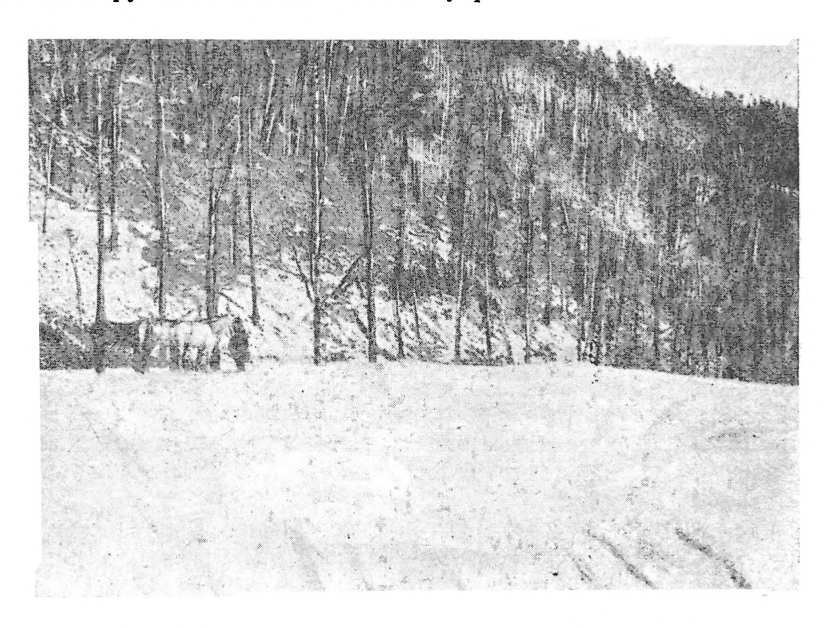
По месту и причинам возникновения наледи могут быть разделены на несколько различных видов, а именно: на речные, грунтовые и ключевые наледи.

Р е ч н о й н а л е д ь ю называется речная вода, которая зимою вследствие уменьшения живого сечения русла реки от образовавшейся толщи льда и промерзания берегов, не помещаясь в этом живом сечении и не имея возможности проходить речными наносами, вытекает на поверхность берегов реки и приречной долины или на лед, уже образовавшийся в русле реки. Растекаясь по поверхности льда и берегов вода замерзает слой за слоем, образуя

на льду реки или в ее долине более или менее обширные и мощные слоистые пласты льда.

Наледный лед иногда бывает незначителен как по площади, им занимаемой, так и по мощности ледяного слоя, но иногда он покрывает огромные пространства в сотни квадратных километров и достигает мощности, измеряемой метрами.

Начало речной наледи бывает или в самом русле или же на пойме реки. При малом развитии наледь, образовавшись в русле реки, ограничивает свое распространение этим руслом, но иногда заполняет русло и выходит в долину реки.



Фиг. 5. Вершина бугра речной наледи возле дороги.

Наибольшего развития наледи достигают на болотных речках, появляясь каждый год приблизительно на одних и тех же местах. Правда, это не значит, что места наледей никогда не изменяются: перемена мест происходит, но весьма медленно.

Берега мелких речек в тех местах, где образуются наледи, обыкновенно лишены растительности и бывают покрыты камнями, между которыми речка струится несколькими руслами.

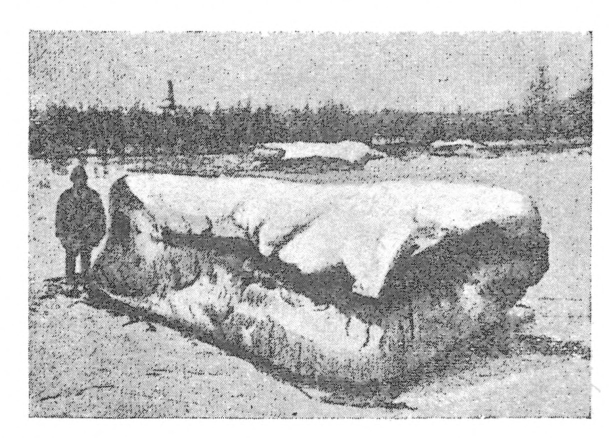
Хорошее представление о речной наледи дает фиг. 5, на которой показана вершина бугра наледи на небольшой речке, а также фиг. 54, изображающая наледь на реке в Якутии.

Поля наледного льда тают медленно; одни исчезают в конце весны, другие летом, а немногие из них остаются и до следующего года. При некоторых наледях в русле и в долине встречаются ледяные бугры круглой или овальной формы с трещинами, проходящими через вершину; иногда из этих трещин сочится вода и, замерзая, увеличивает размер бугров.

Бугры в русле возникают отчасти вследствие того, что незамерзшая вода, скопляясь подо льдом, поднимает его и образует некоторое вздутие; отчасти бугор растет оттого, что просачивающаяся на лед вода замерзает вблизи выхода. Бугор постепенно увеличивается до тех пор, пока в нем не появится трещина, и тогда вода бурно вырывается на поверхность, ломая и разбрасывая лед. Образование трещины происходит неожиданно, и разрыв льда, составляющего бугор, подобен взрыву. Наледи легко деформируют сооружения, оказавшиеся в районе их образования, и поэтому представляют большую угрозу для всяких построек.

Некоторое представление о явлениях, сопровождающих взрыв бугра речной наледи, дает глыба льда (фиг. 6) наледи на реке в Якутии.

По свидетельству В. Г. Петрова наледь имела шесть больших бугров. После взрыва вода хлынула через дорогу потоком шириной в 75 *м*, прошедшим не менее пяти километров. Несколько глыб льда, в том числе показанную на фиг. 6, водой из бугра отнесло на 120 *м*. Самая большая глыба льда имела размер 19 × 5 × 2 *м*, т. е. 190 $м^3$.



Фиг. 6. Глыба льда весом в 38 *т*, выброшенная взрывом наледи на р. Онон (фото В. Г. Петрова).

Другим видом наледей являются грунтовые наледи; они обычно обязаны своим происхождением надмерзлотным водам.

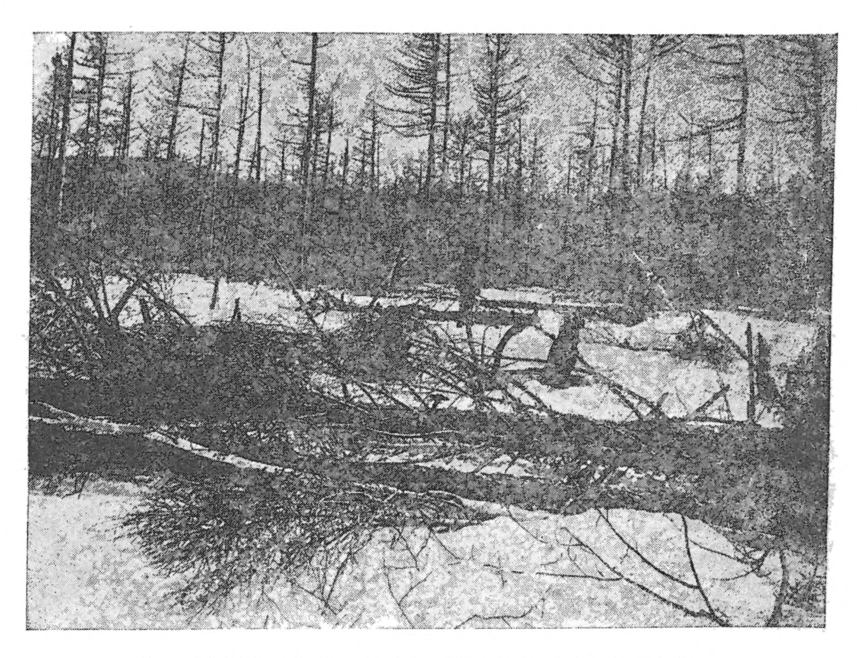
Образование наледей надмерзлотных вод или грунтовых наледей происходит следующим образом. С наступлением зимы уровень надмерзлотных вод начинает постепенно понижаться, так как поверхностные воды исчезают из-за наступивших холодов и питание ими надмерзлотных вод прекращается. Это понижение продолжается пока не установится некоторый постоянный уровень. Промерзание верхних слоев почвы образует водонепроницаемую корку сверху и начинает создавать преграды для свободной циркуляции надмерзлотных грунтовых вод внутри деятельного слоя. При более глубоком промерзании отдельных участков грунта, во время все увеличивающихся холодов, возникает подпор, внутреннее давление, и вода под напором стремится прорваться на поверхность земли.

Если напор велик, вода прорывает верхний замерзший слой часто во многих местах и, разливаясь по поверхности, образует обледенение, т. е. наледь, занимающую иногда довольно большую площадь. Вид такой наледи в районе железной дороги, сфотографированный 28 мая, показан на фиг. 7. Лед наледи протаивает

очень медленно, в некоторых местах сохраняется до середины лета, а иногда исчезает лишь в конце лета. Вследствие этого лес в местах наледей гибнет, другая растительность чахнет.

Площадь, занимаемая грунтовыми наледями, измеряется десятками, сотнями, редко тысячами квадратных метров, т. е. значительно меньше, чем площадь речных наледей.

С увеличением холодов мелкие прорывы надмерзлотных вод замерзают и выходы сосредоточиваются в нескольких бугорках, расположенных обычно около кустов или стволов деревьев. Такие бугорки являются как бы небольшими вулканами, извергающими

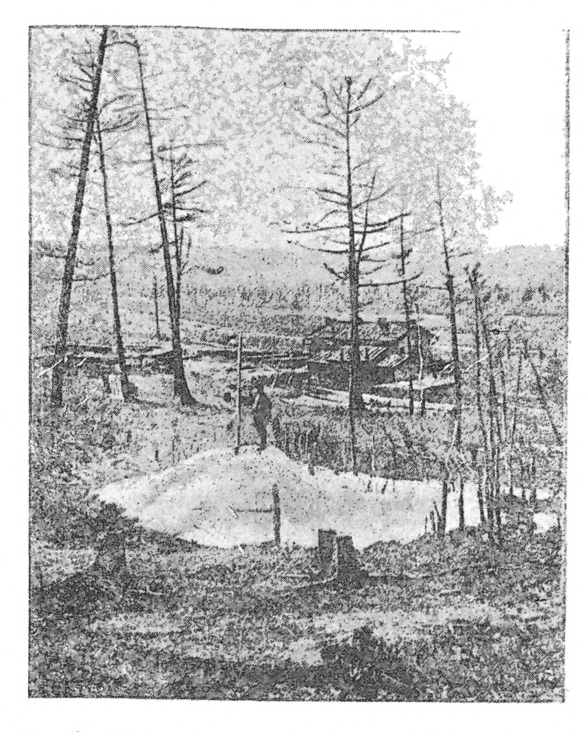


Фиг. 7. Грунтовая наледь вблизи железной дороги, сфотографированная 28 мая.

воду. Их размеры увеличиваются с течением времени, но очень большими они не могут быть (фиг. 8), так как деятельный слой вскоре промерзает полностью и вся надмерзлотная вода превращается в лед.

В тех случаях, когда ниже деятельного слоя имеется талый водоносный слой, расположенный на скале или на слое вечной мерзлоты (фиг. 1), а также при очень большом подпоре надмерзлотных вод, если верхний замерзший слой оказывается достаточно прочным и упругим, скопление воды вздувает почву, и в этом месте медленно вырастает бугор. При этом верхний мерзлый слой грунта отрывается от водоносного слоя и приподнимается на некоторую высоту вместе со всем тем, что находится на поверхности земли (фиг. 9). Внутри бугра содержится лед, или лед с водой. Бугор с течением времени увеличивается, наверху его, а часто и по бокам, образуются трещины, из которых течет вода. Вода эта

растекаясь по снегу и почве, замерзает слой за слоем и покрывает некоторое пространство льдом. Если на том месте, где образуется бугор, растут деревья, то они поднимаются вместе с бугром, принимая веерообразное положение. Весною и летом лед тает и бугор оседает. Высота бугров достигает 4—5 *м*. Схема образования бугра грунтовой наледи показана в разрезе на фиг. 10.



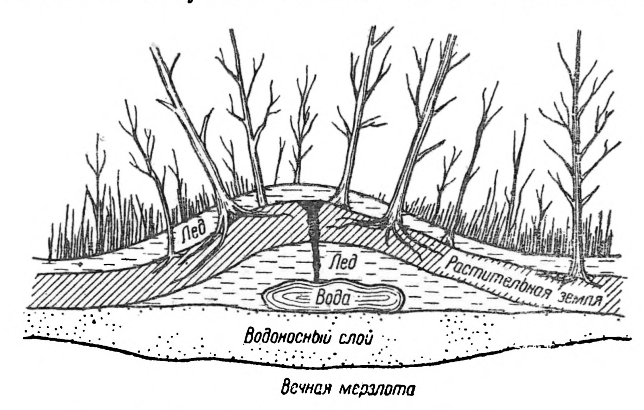
Фиг. 8. Бугор грунтовой наледи вблизи зданий железной дороги.

Как это следует из предыдущего, вода, образующая грунтовые наледи, т. е лед бугров в почве и на ее поверхности, не находится на месте, а притекает со стороны, как и в речных наледях. Гидростатическое давление в грунте, послужившее причиной образования наледного бугра, с дальнейшими морозами и промерзанием деятельного слоя настолько увеличивается, что выгоняет грунтовую воду на дневную поверхность путем постепенного просачивания сквозь трещины в



Фиг. 9. Высокий бугор грунтовой наледи вблизи железной дороги.

мерзлой корке бугра или путем внезапного разрыва этой корки и быстрого извержения значительных масс воды. Взрывы эти сопровождаются большим шумом и сила их бывает настолько велика, что



Фиг. 10. Схема образования грунтовой наледи.

мерзлая почва и лед разбиваются на отдельные огромные глыбы, которые частично разбрасываются по сторонам, частично уносятся образующимися потоками воды, иногда на значительные расстояния от места взрыва. Взрыв бугра способен разрушить находящиеся поблизости сооружения.



Фиг. 11. Вершина бугра грунтовой наледи с глубокой трещиной.

Вид на вершину бугра грунтовой наледи изображен на фиг. 11. Бугор имеет трещину глубиной более метра. Фотография снята ранней весной, когда частично уже произошло оседание бугра, но в почве еще осталась линза льда. Сохранились и ледяной покров на бугре и обледеневшие стенки трещины. Хорошо видны наклонившиеся стволы деревьев.

При вскрытии бугров обнаруживается, что под верхним промерзшим слоем почвы находится или свод или плосковыпуклая линза из чистого льда; то и другое доходит до 1 *м* толщины. На дне бугров (под льдом) обычно находится слой вязкой полужидкой массы тоже мощностью до 1 *м*, а дальше залегает слой вечной мерзлоты. Наледи грунтовые, так же как и речные, склонны каждую зиму появляться на одних и тех же местах, но из этого правила бывают большие исключения. Особо следует отметить бугры, известные в Якутской АССР под названием «булгунняхи». Эти бугры достигают высоты свыше 10 *м* и содержат внутри ледяные массы. Булгуннях, появившись, нарастает медленно в течение ряда лет, затем наверху его появляется трещина, и он постепенно также в течение ряда лет исчезает. Этим, а также своей высотой, булгуннях отличается от обычных грунтовых наледей.

Булгунняхи имеют довольно широкое распространение; они встречаются на крайнем севере Якутской АССР и на широте Якутска, в б. Амурской области, в Забайкалье, в долине Верхней Ангары и на Ялмале. Происхождение их точно еще не установлено.

Во многих случаях наледи обязаны своим происхождением подмерзлотным водам; такие наледи часто называются ключевыми наледями.

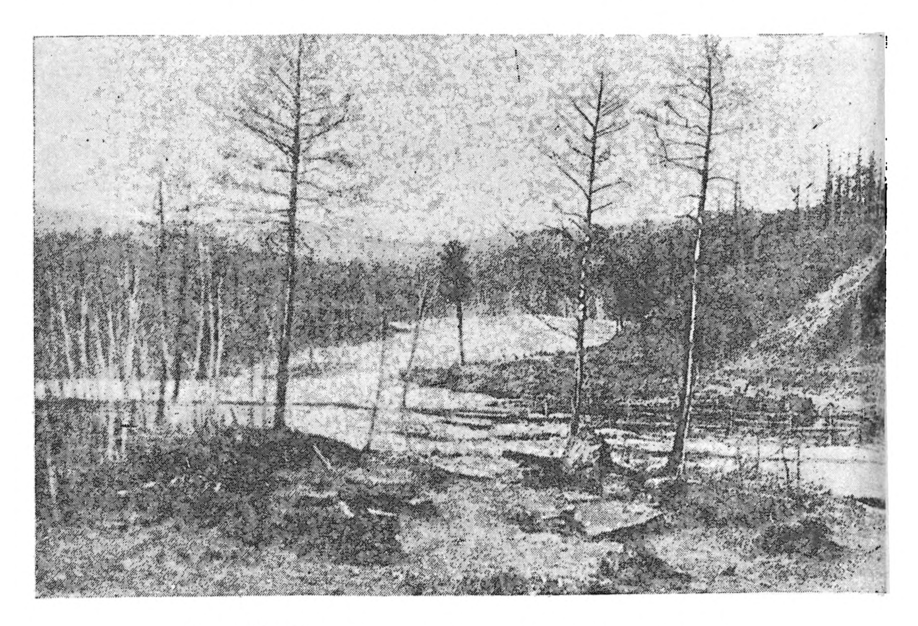
Внешне ключевые наледи имеют большое сходство с грунтовыми. Ключевые наледи образуются вследствие замерзания выходящей на дневную поверхность глубинной воды восходящих источников. Источники эти имеют температуру, достаточную для того, чтобы протаять вечную мерзлоту, проложить себе ход и не замерзнуть зимой в пределах деятельного слоя. По выходе же на поверхность вода растекается по склону долины сравнительно тонким слоем и замерзает; на этот слой намерзает следующий и т. д. Необходимо еще обратить внимание на то, что эти ключи обыкновенно имеют выходы на дневную поверхность в различных местах зимой и летом, причем каменная россыпь или моховой покров не всегда позволяют точно установить место летнего выхода. Зимой же выход ключа, как правило, постепенно поднимается по склону, что легко обнаруживается образующимися наледями, и лишь при наступлении сильных морозов выход ключа окончательно устанавливается в определенном месте. Точное выяснение мест выхода ключей имеет весьма важное практическое значение для соответствующего проектирования различных сооружений. Температура этих ключей отличается постоянством и бывает от 0,5 до 3°.

Ключевые наледи появляются в декабре, и иногда только в конце января, когда сильные морозы окончательно переморозят их подземные потоки в деятельном слое. С момента образования наледи рост ее неуклонно увеличивается и заканчивается лишь к концу апреля или к началу мая.

Во время всего периода роста наледи носят явные признаки течения в них воды под поверхностной коркой льда; иногда вода вспучивает эту корку в виде бугров, иногда она прорывает ее и течет открыто по ее поверхности. Особенно интенсивно увеличивают свою площадь ключевые наледи в конце зимы (март —

апрель), когда морозы становятся мягче. Этим ключевые наледи резко отличаются от грунтовых наледей, затухающих полностью в середине зимы.

Начало образования ключевых наледей также отличается от начала образования грунтовых наледей. Последние начинают появляться в начале зимы, а первые наблюдаются не ранее декабря, января и даже февраля месяца. Площади, занимаемые ключевыми наледями, весьма значительны. Например, ключ на правом берегу Черного Урюма, примерно против устья речки Ярничной, по данным геолога А. В. Львова давал наледь площадью до 70 тыс. м² Ключевая наледь, спускающаяся к реке, показана на фиг. 12. Клю-



Фиг. 12. Ключевая наледь, спускающаяся к реке.

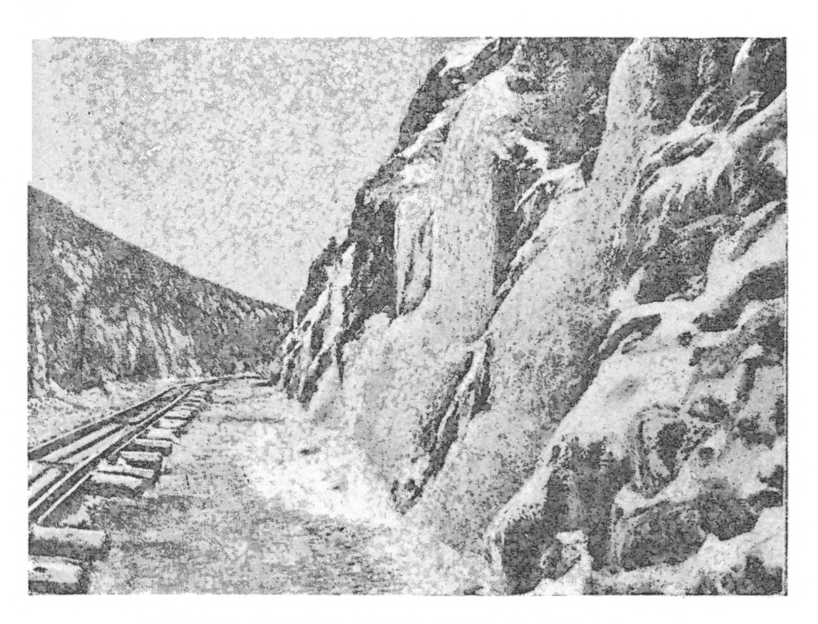
чевые наледи, подобно грунтовым, вызывают большие затруднения при эксплоатации дорог и в отдельных случаях могут повредить или даже разрушить сооружение.

К грунтовым наледям следует также отнести так называемые ледопады, т. е. наледи, образующиеся вследствие замерзания грунтовой воды, выходящей на дневную поверхность на крутых скальных косогорах, на обрывистых берегах рек и на откосах железнодорожных выемок, преимущественно скальных, где они часто достигают чрезвычайного развития и вызывают большие работы по их выколке и удалению. Ледопад, образовавшийся в железнодорожной выемке, показан на фиг. 13.

К особенностям морфологического характера, свойственным преимущественно району вечной мерзлоты, относятся также торфяные бугры и так называемые пятна-медальоны. Обе эти формы рельефа земной поверхности М. И. Сумгин отно-

к типу наледных бугров. Торфяные бугры, по Сумгину, летом ртикальном разрезе дают сверху слой талого торфа мощ-ью, в зависимости от времени лета и широты места, не более 30 *см*. Далее слой мерзлого торфа, под ним мерзлый грунт, глубже (иногда) ледяное ядро.

[ятна-медальоны представляют собой обнаженные от расти-ности небольшие площадки обычно круглой или овальной ы, резко отличные от окружающей тундры, покрытой расте-и. Грунт пятен обычно отсортирован, причем крупные фрак-собираются на краях пятен, образуя иногда бордюры из ей.

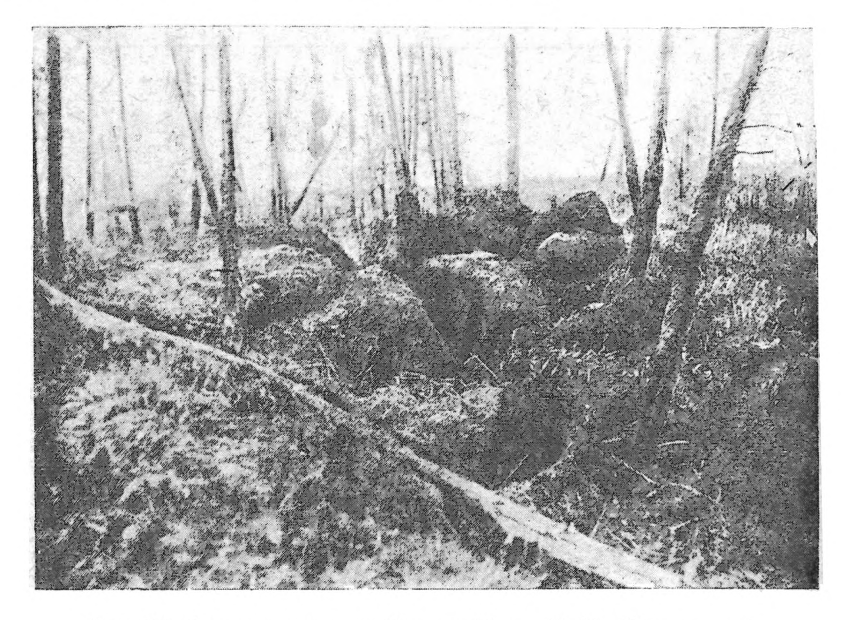


Фиг. 13. Ледопад в железнодорожной выемке.

'орфяные бугры и пятна-медальоны столь характерны, что бо-, на которых находятся бугры, называют бугристыми боло-, а тундру с пятнами-медальонами — пятнистой тундрой.

Іа Дальнем Востоке на заболоченных местах встречаются ы, подобные торфяным буграм; высота их не превышает —0,75 *м*. Пространства, занятые такими буграми, называются могильниками. Причинами образования указанных форм шафта надо считать (согласно Сумгину) отчасти напряжения лых прослойках, получающиеся в результате смерзания при стных условиях зимней и вечной мерзлоты, отчасти гидро-ическое давление воды и непосредственнное расширение за-ающей воды, которая нагнетается в самый бугор при его обра-нии. В отдельных случаях роль воды исполняют плывунные ы грунтов. Бугор пучения, прорезанный шурфом, приведен иг. 14. На этой фотографии хорошо виден «пьяный лес», иско-анный пучением грунтов.

В районе вечной мерзлоты на Дальнем Востоке повсемест
наблюдаются обширные заболоченные пространства, которые н
сят местное название «ма́ри». Мари резко разнятся от прост
болот не только названием, но и по существу своей природы
свойств. Они отличаются сравнительно небольшой глубин
редко превосходящей 2—2,5 *м*, толстым моховым покровом, п
имущественным распространением мохового и осокового тор
при почти полном отсутствии древесного торфа, и расположени
не только на пойменных частях рек и в других низинных и р
нинных местах, но и высоко на склонах гор.



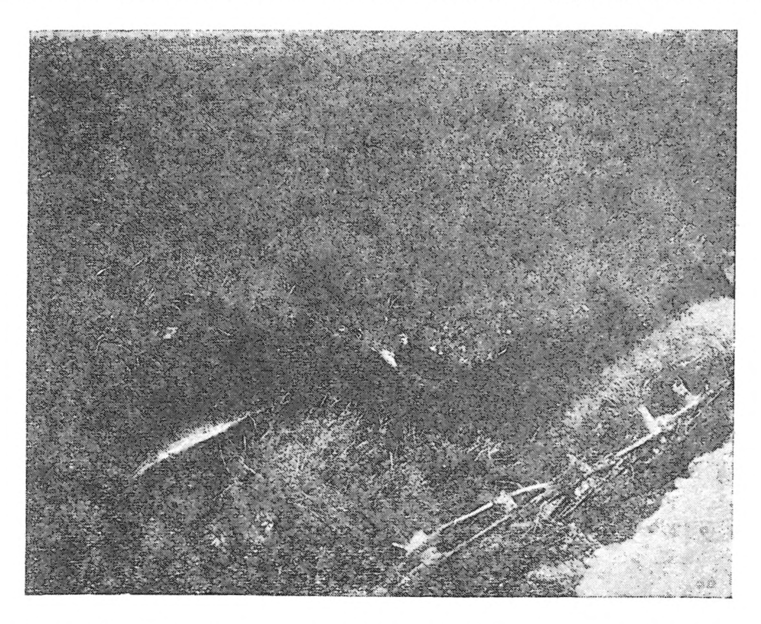
Фиг. 14. Бугор пучения в Якутии (фото П. И. Мельникова).

Сущность природы марей в основном состоит в следующе
Водонепроницаемость слоя вечной мерзлоты и часто неглубок
залегание коренных пород при обильном выпадении осадков (в т
чение небольшого периода времени), а также запаздывание отта
вания грунтов при быстром наступлении весны создают благ
приятные условия для существования болотных растений. Боло
ная растительность — мох и осока — быстро развивается и укр
пляется в верхних оттаявших и весьма влажных слоях грун
влажность которых поддерживается растаявшим снегом, дождя
и конденсацией паров влаги. В дальнейшем эта растительность са
становится фактором, препятствующим стоку воды, и тем сам
увеличивает заболоченность.

Эти обстоятельства столь значительны, что даже наклонн
поверхности почвы, например косогоры, и при значительн
уклоне нередко оказываются заболоченными и приобретают х
рактер болот.

Обильная влажность и низкие температуры ведут к отмиранию растительности и вместе с тем задерживают разложение органических остатков, создавая толстый торфяной слой, состоящий из мхов и других болотных растений. Этот слой весьма гигроскопичен и поэтому всегда весьма влажен.

Мощный моховой и торфяной покровы марей оказывают чрезвычайно отрицательное влияние на тепловой баланс нижележащих слоев грунта. Летом насыщенный водой мох и лежащий под ним слой торфа, с одной стороны, поглощают большое количество тепла на испарение, с другой стороны, вследствие своей малой теплопроводности в талом состоянии, задерживают проникание тепла в нижележащие слои. Зимой мох и торф, насыщенные во-



Фиг. 15. Прослоек льда под тонким торфяно-моховым слоем на мари.

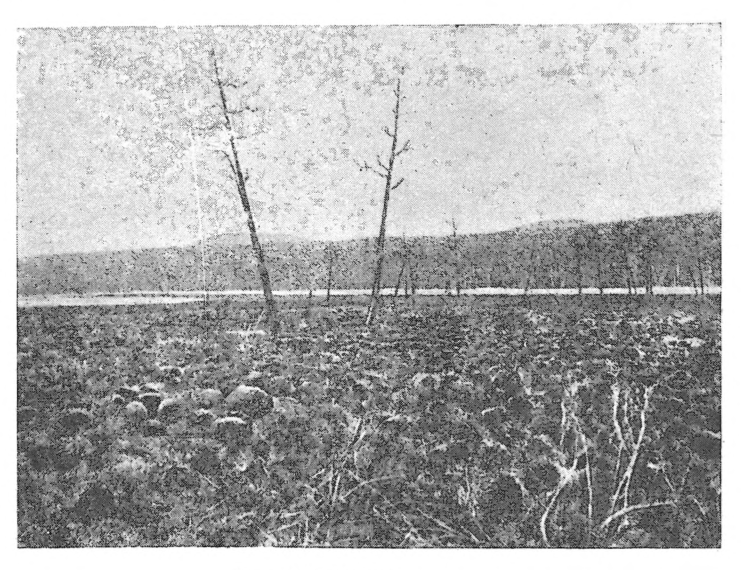
дой, превращаются в сплошную мерзлую массу, вследствие чего передача тепла через них увеличивается почти в 4 раза в сравнении с летним временем. В силу этого, на марях верхняя граница вечной мерзлоты часто встречается на глубине 0,20—0,50 *м*. На фиг. 15, слева, под сравнительно тонким моховым и торфяным покровом мари виден прослоек льда.

Различают два вида марей: моховые (гладкие) и кочковатые. Подавляющее большинство марей принадлежит ко второй категории. Кочки расположены чрезвычайно густо, доходят по высоте до 0,75—1,00 *м* и чрезвычайно затрудняют сток воды по марям, что в сочетании с большой поглощательной способностью мха и торфа еще более содействует насыщению мари водой.

Марь, приведенная на фиг. 15, тоже относится к кочковатым, но из-за сильно развитой осоковой растительности кочки, неболь-

шие сами по себе, мало заметны. Ярко выраженная кочковатая марь представлена на фиг. 16. Кочки состоят из мха и торфа и внутри нередко содержат мерзлоту.

Практика показывает, что мари поддаются осушению. Мелиорация их заключается в том, что горизонт воды в них понижается, верхний слой высыхает, сухой мох от пожогов или палов выгорает, оставляя большое количество золы; черная и сухая после пожогов поверхность мари сильнее нагревается солнцем, отчего идет дальнейшее весьма интенсивное осушение мари; меняется растительность на ее поверхности, летнее протаивание проникает



Фиг. 16. Кочковатая марь.

гораздо глубже, вечная мерзлота понижается, вместо мха начинают расти луговые травы, кустарники и даже деревья. Марь превращается в луг.

Эти соображения позволяют считать целесообразным проведение на марях в соответствующих случаях хотя бы самых элементарных мероприятий по отводу поверхностной и отчасти грунтовой воды.

Необходимо отметить еще два явления, непосредственно связанные с вечной мерзлотой, а именно: солифлюксию и асимметричность широтных долин (на Дальнем Востоке).

Наличие вечной мерзлоты обусловливает характерные формы рельефа местности и в более крупном масштабе. Сюда, во-первых, относится так называемая солифлюксия, т. е. медленное стекание больших грунтовых масс вниз по склону даже весьма пологому по верхней границе вечной мерзлоты, причем на Дальнем Востоке обнаружены (С. П. Качурин) целые террасы, образованные таким передвижением грунтовых масс.

На это явление изыскателям надлежит обращать особое вни

мание, чтобы не смешать такие неустойчивые солифлюксные террасы или псевдотеррасы (как их назвал С. П. Качурин) с настоящими эрозионными террасами.

Во-вторых, можно считать установленным, что в районе вечной мерзлоты, преимущественно в южных его частях, долины широтного направления имеют неодинаковую крутизну боковых склонов. Именно, склоны, обращенные на север, — пологие, а склоны, обращенные на юг, — крутые. Объясняется это тем, что склоны, обращенные на север, скованы неглубоко залегающей вечной мерзлотой, которая задерживает углубляющую деятельность размыва, и кроме того на этих склонах весеннее оттаивание поверхностных слоев грунта, вследствие сравнительно малого количества получаемого ими тепла, идет медленно, и потому на поверхности склонов не возникают мощные потоки воды.

На противоположных же склонах, в особенности в южных широтах, лучи высоко стоящего летнего солнца почти под прямым углом падают на крутые склоны и сильно их нагревают. Поэтому вечная мерзлота на этих склонах залегает гораздо глубже, а сезонная мерзлота оттаивает значительно раньше и быстрее, чем на склонах, обращенных к северу. Вследствие этого во второй половине лета в период дождей эрозионные потоки со всей силой обрушиваются на этот склон и смывают с него элювий и делювий, обнажая во многих случаях коренные породы, способные образовывать более крутой склон.

В меридиональных же долинах оба склона имеют в большинстве случаев одинаковую крутизну и глубина залегания в них верхней границы вечной мерзлоты при прочих равных условиях приблизительно одинакова. Эта разница в крутизне и характере склонов также имеет большое практическое значение для строителей железных дорог при выборе направления трассы, мест для станционных площадок и для отдельных сооружений.

В районах вечной мерзлоты часто встречаются каменные россыпи и осыпи. Резкие колебания температур воздуха и большая амплитуда этих колебаний обусловливают в районе вечной мерзлоты на Дальнем Востоке, в особенности в южных широтах, чрезвычайно интенсивное механическое выветривание скальных пород. Большое распространение в указанном районе каменных россыпей и осыпей обусловлено также тем обстоятельством, что деятельный слой при замерзании как бы выжимает камни на поверхность.

Россыпи, представляя собой вид элювия, часто сложены из довольно крупных камней; обычно они встречаются на водоразделах, перевалах, террасах, на пологих склонах, а в некоторых местах и в долинах, и поэтому являются сами по себе достаточно устойчивыми, т. е. не имеют склонности к перемещению, за исключением случаев, когда они расположены на склонах и промежутки между камнями заполнены глинистым или илистым грунтом. В таких условиях россыпи могут иметь движение солифлюксионного характера вниз по склону.

Кроме того бывает, что в россыпях по находящейся под ними коренной породе протекают в значительном количестве надмерзлотные воды, а иногда имеются и выходы глубинных вод, что,

как указано выше, служит причиной появления больших налед в этих местах. Каменная россыпь на сравнительно ровном участ дороги представлена на фиг. 17.



Фиг. 17. Каменная россыпь.

Каменная россыпь, поросшая мелким лесом, на косогоре р. Н ман изображена на фиг. 18. Частичная разборка этой россыпи г

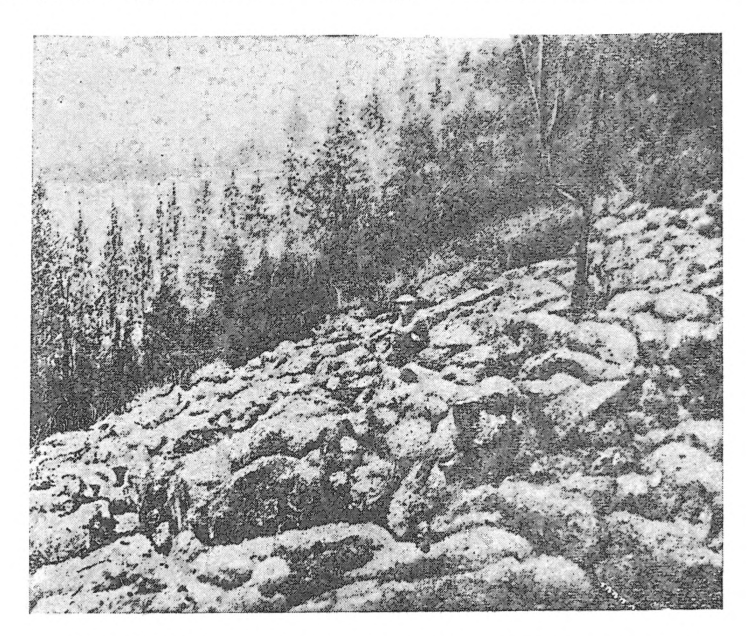


Фиг. 18. Голая каменная россыпь на косогоре р. Ниман.

казала, что мощность ее слоя равна 2,5—4 *м*. Снизу россыпь пс стилается коренной породой, выходящей в некоторых местах

дневную поверхность в виде так называемых «останцев». Эта россыпь сложена из угловатых камней в среднем объемом около 0,25—0,60 *м*³. Встречались отдельные камни объемом более 1—2 *м*³. Сверху камни лежат свободно и легко могут быть сдвинуты. Ниже, начиная с глубины около 1 *м*, промежутки между камнями заполнены дресвой и мелкими обломками.

Во многих случаях каменные россыпи покрыты сверху, как ковром, слоем мха толщиной в 20—30 *см*. Каменная россыпь на косогоре около р. Ниман, покрытая мхом, показана на фиг. 19. При ходьбе по россыпи отдельные камни качались, а некоторые из них даже сдвигались в сторону, несмотря на моховой покров.



Фиг. 19. Каменная россыпь, сплошь покрытая мхом, на косогоре р. Ниман.

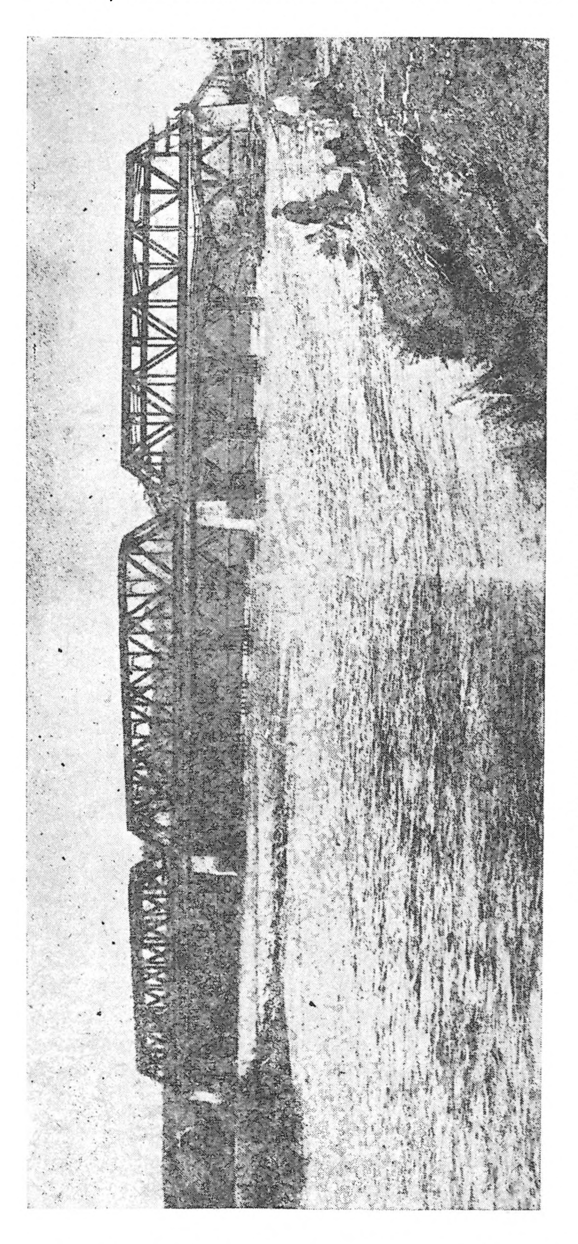
Осыпи делювиального происхождения расположены на склонах, в распадках, у подножия косогора, часто в виде громадных конусов с несколько отсортированным по крупности материалом: внизу находятся наиболее крупные каменные глыбы, а по направлению вверх материал располагается в порядке убывающей крупности.

Существуют мертвые осыпи, т. е. не получающие сверху материала для своего пополнения и остановившиеся в своем движении, и живые осыпи, продолжающие увеличиваться в объеме и перемещаться вниз по косогору.

Надо иметь в виду, что прокладка дороги или какие-либо другие строительные работы на мертвой осыпи могут ее оживить, т. е. осыпь снова может притти в движение, так как будет нарушено установившееся в ней равновесие. Россыпи лежат на коренных

породах, их породивших, а осыпи могут прикрывать и наносн породы.

Указанные обстоятельства показывают, какое большое прак ческое значение имеет всестороннее обследование россыпей и о пей для наибо целесообразного пользования мест сти в строителы целях и для св временного приня предупредительн мер, обеспечив щих устойчивое ложение инжен ных сооружений.



Фиг. 20. Река промерзающая зимой до дна

Реки в районах в ной мерзлоты име ряд особенност требующих особ внимания. Вследст наличия вечной ме лоты и промерзан в большинстве с чаев, всего сл грунта над веч мерзлотой, пита рек грунтовыми дами в зимнее вре резко уменьшает Поэтому реки в зи нее время име весьма низкий го зонт и там, где те пература зимних сяцев очень низі и в первую полові зимы выпадает ма снега, промерза до дна и текут мой речными на сами, которые то частично или н ностью промерзан в последнем слу река зимой сов прекращает течен Это полное пром зание всего потока в некоторых отдельных местах является при ной образования описанных ранее речных наледей.

Река, полностью промерзающая зимой, показана на фиг. 20

Уровень воды в реках зимой сильно понижается. На некоторых реках, после образования слоя льда, при последующем понижении уровня воды под льдом создается прослоек воздуха, а вода снова замерзает, образуя второй ледяной слой; иногда образуется несколько таких слоев льда. Почти полное промерзание русла происходит даже в таких больших реках, как Зея — приток Амура. По данным М. Я. Чернышева расход воды в р. Зее зимой почти в 1000 раз меньше, чем летом. На р. Гилюй в отдельных местах, где вода остается незамерзшей за зиму, она иногда портится и начинает загнивать.

Весьма важным явлением, характерным для рек севера и востока Сибири, следует считать образование донного льда. Последний образуется весьма интенсивно, в больших количествах, и может повредить сооружение, находящееся в реке. Донный лед представляет серьезное препятствие для непосредственного забора воды из реки в целях водоснабжения.

Донный лед чаще всего образуется на перекатах в местах замедленного течения реки, у берегов и в углублениях дна около камней, лежащих в русле. Накопившись в некотором количестве, донный лед всплывает на поверхность воды, и увлекаемый течением, образует довольно сильный осенний ледоход — шугу. Вследствие этого возможно возникновение заторов и зажоров, отчего на многих реках горизонт воды в момент ледостава поднимается на 3—5 *м* против меженнего.

Заторы и зажоры могут повредить сооружение, находящееся в реке, а связанный с ними подъем воды вызывает затопление окружающей местности. Очевидно, что режим рек в этих условиях подлежит тщательному изучению, ибо отсутствие соответствующих сведений может повести к возведению сооружений в непригодных для этого местах.

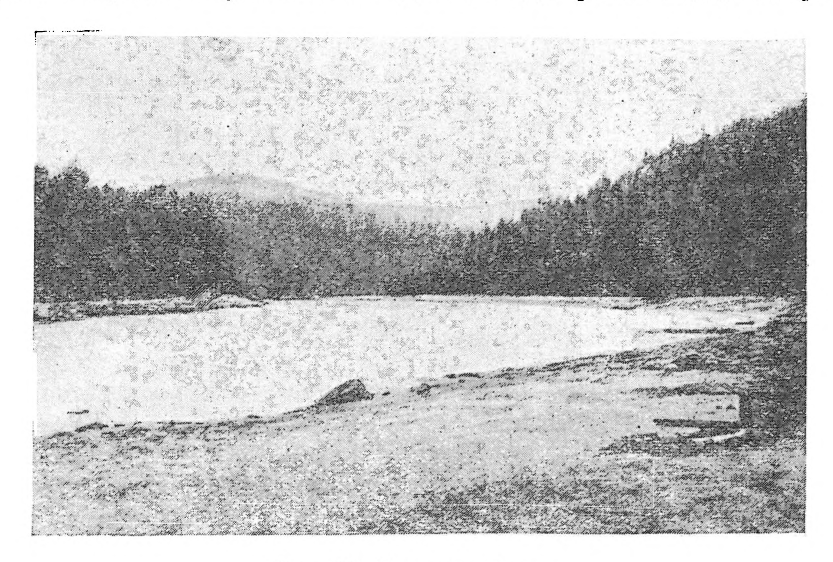
В районах, где толщина снежного покрова незначительна, т. е. на значительной части территории, занимаемой вечной мерзлотой (в особенности в южных широтах между 90 и 100° восточной долготы), весенний подъем воды бывает весьма мал. Ледоход в сущности отсутствует. Наоборот, летние паводки характеризуются быстрым подъемом воды, весьма высоким горизонтом, большими скоростями и быстрым спадом воды до меженнего горизонта. Объясняется это главным образом ливневым характером летних дождей и горным рельефом местности с крутыми тальвегами и склонами долин, но некоторое влияние на такой характер паводков оказывает и связанная с вечной мерзлотой переувлажненность деятельного слоя, могущего там, где нет мохового покрова, впитать в себя лишь сравнительно небольшое количество выпадающих ливневых осадков.

Многие реки во время паводков вследствие весьма больших скоростей течения несут деревья, ил, гравий, гальку и перекатывают крупные камни; поэтому около отверстия моста или трубы, забитого карчами как шандорами, очень быстро образуется плотина из наносов, могущая вызвать поднятие горизонта воды в реке, опасное для целости сооружений.

Так, например, по этой причине на одной станции произошло

наводнение, затопившее все жел.-дор. пути более, чем на 1 *м*, отло. жившее на путях и на остальной территории станции около 100 000 м наносов из ила и гальки и размывшее полотно на подходе к мосту через реку. Необходимо иметь в виду, что деревья в районе вечной мерзлоты, не имеющие возможности глубоко пускать корни в грунт, легко вырываются из грунта ветром и водяными потоками. Известны случаи подъема воды во время таких половодий на несколько метров выше межени. Так, например, на р. Ниман, как можно су. дить по данным, собранным на месте, подъем воды достигал в не. которые годы трех метров.

Общий вид реки Ниман показан на фиг. 21 при меженнем уровне. Предел нормального подъема воды резко виден на фото.



Фиг. 21. Вид реки Ниман.

графии; он лежит на границе береговой растительности. Случай ный подъем воды захватывает и зону растительности.

Озера в районах вечной мерзлоты встречаются довольно часто По большей части они расположены в долинах и представляют со бой остатки староречий. Чаще всего озера являются изолирован ными бассейнами, стока не имеют и питаются по преимуществ поверхностным стоком и иногда аллювиальными водами. Зимой почти все озера промерзают до дна, за исключением отдельны бассейнов или очень глубоких или питающихся подмерзлотным теплыми водами.

Особую категорию озер представляют собой упоминавшиес ранее провальные озера, в изобилии встречающиеся в районе р Зеи, Буреи, Норы и Селемджи. Провальные озера неглубоки невелики по площади. Они питаются исключительно поверхнос ными и надмерзлотными грунтовыми водами. Запас воды в ни незначителен и использование их для водоснабжения мало во можно.

Обращаясь к слою вечной мерзлоты и рассматривая его как основание для сооружений, необходимо сказать следующее.

Как уже упоминалось ранее, вечная мерзлота не есть что-то постоянное и не меняющееся. Напротив, слой вечной мерзлоты подвергается непрерывным изменениям, меняясь по простиранию и по мощности в зависимости от различных условий. Так, например, при рассмотрении вопросов о погребенных льдах было отмечено, что нарушение естественных условий существования местности способно нарушить сохранность этого льда, а при описании марей отмечалось, что мелиорация марей приводит к значительному понижению верхней границы слоя вечной мерзлоты. Очевидно, что строителю нельзя забывать о том, что слой вечной мерзлоты способен изменять свое положение и состояние.

При оттаивании мерзлого грунта происходит его осадка и, кроме того, грунт при этом часто теряет значительную долю своей несущей способности. Это влечет за собой большую осадку расположенных на этом грунте сооружений, в большинстве случаев неравномерную по периметру сооружения, что, конечно, вызывает в сооружении различные деформации.

При неравномерном оттаивании, а это, обычно, имеет место, в толще грунта образуются поверхности скольжения оттаявшего грунта по неоттаявшему; они также обусловливают появление в грунте усилий, горизонтально действующих на фундаменты, а иногда вызывающих сползание или сдвиг всего сооружения или отдельных частей его.

Сохранение слоя вечной мерзлоты возле сооружения или под сооружением вообще возможно, но требует принятия ряда специальных мер по теплоизоляции. Более того, в некоторых случаях при помощи теплотехнических мероприятий можно искусственно поднять верхнюю границу слоя вечной мерзлоты.

Считается, что сохранение слоя вечной мерзлоты возможно вообще тогда, когда температура этого слоя достаточно низка и во всяком случае не выше —0,5°. При более высоких температурах возможность сохранения слоя вечной мерзлоты сомнительна.

Если в данном месте вечная мерзлота может быть отнесена к деградирующей, не следует стремиться к ее сохранению.

Протаивание слоя вечной мерзлоты под сооружением возможно вследствие ряда причин; главные из них следующие.

Прежде всего наибольшее влияние на уровень верхней границы слоя вечной мерзлоты оказывает установившийся режим грунтовых и надмерзлотных вод. Осушение поверхностного слоя, например с помощью дренажных канав, приводит к понижению верхней границы. Размер этого понижения неопределенен и заранее рассчитан быть не может.

Но и при отсутствии непосредственных дренажных мероприятий, одно возведение сооружений способно нарушить существующее направление и количество грунтовой воды и тем способствовать изменению слоя вечной мерзлоты.

Большое влияние на режим грунтовых вод оказывает растительный покров почвы. Уничтожение леса, кустарников и травя-

ного или мохового покрова, помимо влияния на режим грунтовы вод, оказывает и прямое воздействие на слой вечной мерзлоть нарушая нормальный температурный режим почвы, сложившийс в данном месте.

Строительные работы почти всегда приводят к уничтожени растительности и, следовательно, к изменению верхней границ слоя вечной мерзлоты.

Наконец сами сооружения, будучи заглублены в грунт, спо собны служить проводниками тепла и тем нарушать состояни вечномерзлого слоя. Многие сооружения отапливаются, други в силу происходящих в них технологических процессов, сами слу жат существенным источником тепла, которое они иногда отчаст отдают почве. В обоих случаях потепление грунта возле сооруже ния и под сооружением ведет к протаиванию слоя вечной мерз лоты. Это протаивание в известной мере можно предугадать со ответствующими теплотехническими расчетами, но нельзя не от метить, что такой расчет будет приближенным и даст лишь неко торое представление о возможном протаивании грунта.

Многие грунты слоя вечной мерзлоты в талом состоянии не способны нести нагрузку и дают большие осадки после переход из мерзлого состояния в талое, даже при сравнительно небольшо влажности. К таким грунтам относятся глинистые, илистые и осо бенно пылеватые грунты. Грунты хорошо дренирующие — граве листые и песчанистые — дают меньшие осадки. При влажност галечных, гравелистых и песчанистых грунтов до 30% по вес осадки этих грунтов обычно невелики и мало отражаются на со оружениях.

Выбирая площадку для возведения тех или иных сооружени необходимо тщательно исследовать грунты и их влажность, ибо от характера грунтов во многом зависит безопасность сооружени

Как это следует из предыдущего, желательно выбирать для построек такое место, грунты которого относятся к хорошо дре нирующим и притом мало влажны.

Рассматривая диаграмму влажности на фиг. 3, полезно заме тить, что часто могут встретиться такие случаи, когда вблизи о верхней границы слоя вечной мерзлоты грунты будут переувлаж ненными, но зато на глубине 1—2 *м* от верхней границы слоя веч ной мерзлоты их влажность оказывается небольшой. Очевидно в таких случаях следует опускать фундаменты сооружения не сколько ниже верхней границы и воспользоваться как осно ванием более глубокими, но менее влажными слоями вечно мерзлоты.

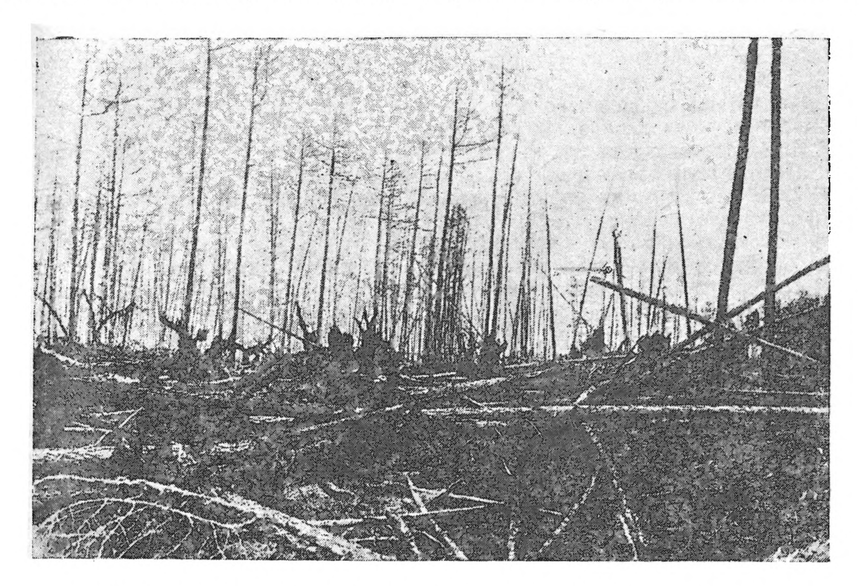
Слоистая мерзлота редко может служить основанием для со оружения, и ее лучше проходить опирая сооружение на талы слои грунта или на мощный сплошной слой мерзлоты.

Особо следует остановиться на вопросе о растительности районах вечной мерзлоты. Наличие вечной мерзлоты, обусловли вающее на Дальнем Востоке, в совокупности с другими климати ческими особенностями района, сильную заболоченность местно сти, служит причиной весьма скудной и однообразной древесно

растительности с почти исключительным преобладанием лиственницы над всеми остальными породами деревьев.

Лиственница со своей поверхностной, сравнительно неглубоко проникающей в почву корневой системой, лучше уживается с вечной мерзлотой, чем другие деревья, но и она редко достигает нормальных размеров, и во многих случаях, в особенности на марях, имеет чахлый, нездоровый вид.

Сосна же, имеющая иное устройство корневой системы, встречается только в виде исключения, редкими перелесками, преимущественно на коренных породах, покрытых коркой элювия или дресвой, или на хорошо дренирующих слоях щебня и осыпей, на солнечных склонах, где вечная мерзлота отсутствует или залегает



Фиг. 22. Бурелом в тайге с неглубоким залеганием вечной мерзлоты.

сравнительно глубоко. Чаще, чем сосна, встречается ель, которая по характеру корневой системы подходит к лиственнице. Другое косвенное указание на близкое к поверхности присутствие вечной мерзлоты дает береза, которая здесь рано отмирает и древесина которой рано подвергается порче на корню.

Большое количество бурелома (упавших деревьев) также свидетельствует о неглубоком залегании верхней границы вечной мерзлоты (фиг. 22), так как корни деревьев не могут проникать глубоко в грунт.

Таким образом, по характеру древесной растительности можно судить не только о наличии или отсутствии вечной мерзлоты, но во многих случаях и о примерной глубине залегания ее верхней границы, что дает изыскателю, проектировщику и строителю возможность предварительной ориентировки в мерзлотных условиях района намечаемой строительной площадки.

Для полноты освещения рассматриваемых здесь вопросов ниже приводится выборка из норм и технических условий проектирования оснований и фундаментов в условиях вечной мерзлоты (ОСТ 90032—39), содержащая ряд интересных и полезных сведений.

II. Общие положения

§ 2. Вечномерзлыми грунтами или вечной мерзлотой называются грунты с отрицательной температурой и не подверженные сезонным оттаиваниям.

§ 3. Слой грунта, подверженный промерзаниям в зимние периоды и оттаиваниям в летние, называется деятельным слоем.

§ 4. Вечная мерзлота называется сливающейся, если ее верхняя граница сливается с деятельным слоем, или несливающейся, если эта граница отделяется от деятельного слоя талым прослойком.

«Сухой мерзлотой» называются несмерзшиеся сухие грунты (скальные, сухие гравелистые, сухие песчаные и т. п.) с отрицательной температурой.

§ 5. Мощность деятельного слоя определяется в случае сливающейся вечной мерзлоты максимально возможной глубиной оттаивания, а в случае несливающейся — максимально возможной глубиной промерзания.

§ 6. Вечная мерзлота по глубине может быть непрерывной или слоистой, т. е. перемежающейся с прослойками талого грунта.

§ 7. Вечная мерзлота в плане может иметь следующее распространение:

а) сплошное,

б) с островами талого грунта (таликов),

в) островное или в виде отдельно залегающих линз.

§ 8. Слои вечной мерзлоты имеют температуру в южных районах своего распространения от 0°—3°, а в северных до —7° и ниже. Верхние слои вечной мерзлоты имеют температуру, близкую к 0°, которая может понижаться от воздействия зимнего промерзания.

§ 9. В условиях сплошной вечной мерзлоты различают подземные воды трех типов:

а) надмерзлотные, находящиеся в пределах деятельного слоя или таликового прослойка между ним и вечной мерзлотой;

б) межмерзлотные, циркулирующие в массиве вечной мерзлоты;

в) подмерзлотные, находящиеся ниже нижней границы вечной мерзлоты.

Примечание. Воды всех трех типов нередко между собой соприкасаются и во многих случаях являются напорными.

§ 10. Водопроницаемость мерзлых мелкозернистых грунтов практически равна нулю; крупноскелетные же грунты при малой их влажности (льдонасыщенности) могут пропускать воду.

§ 11. При промерзании деятельного слоя имеют место следующие явления:

1. Деятельный слой в процессе промерзания может смерзаться с фундаментами. В случае пучинистых грунтов деятельный слой, увеличиваясь в объеме, стремится поднять смерзшиеся с грунтом фундаменты, при этом возможны разрыв фундаментов, образование под их подошвой пустоты, либо скольжение мерзлого грунта по плоскостям фундаментов.

2. При заложении подошвы фундаментов в зоне деятельного слоя возможно поднятие фундаментов силами пучения грунта, развивающимися под подошвой.

3. Расширяющийся при пучении деятельный слой помимо давления снизу вверх может дать горизонтальное давление, вызвав деформации сооружений.

4. В процессе промерзания грунтовые и поверхностные (речные и озерные) воды могут оказаться замкнутыми и сжатыми между верхним мерзлым слоем или льдом и нижним вечномерзлым или другим водонепроницаемым слоем; образовавшиеся при этом гидростатическое и гидродинамическое давления могут проявиться в виде:

поднятия верхней мерзлой корки с одновременным поднятием смерзшихся с ней фундаментов;

прорыва зажатой воды на поверхность или внутрь зданий с образованием трещин в мерзлой корке (наледные явления), или усиления давлений на наружную поверхность фундаментов.

§ 12. При оттаивании деятельного слоя имеют место следующие явления:

1. Выпученные за зиму фундаменты могут не опуститься на свое место вследствие препятствий сил трения и смерзания между фундаментом и грунтом или вследствие того, что пустота под их подошвой или в месте разрыва фундамента может оказаться заполненной грунтом или льдом.

2. Оттаивание грунта протекает быстрее около фундаментов южных стен, вследствие чего около них происходит накопление грунтовой воды, разжижающей грунт.

3. Оттаивающая мерзлота образует скользкую увлажненную поверхность, способствующую сплывам и оползням.

§ 13. При оттаивании вечной мерзлоты имеют место:

а) изменение режима поверхностных и подземных вод, образование сообщений между отдельными горизонтами их, появление и исчезновение подземных вод и др.;

б) образование местных просадок при переувлажненных грунтах и даже так называемых провальных озер при наличии в грунтовой толще мощных пластов льда;

в) образование наклонных поверхностей при неравномерном оттаивании, вызывающих скольжение фундаментов;

г) понижение несущей способности рыхлых грунтов особенно резко у грунтов глинистых, пылеватых и илистых.

Глава II

ДЕФОРМАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

§ 4. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Многие сооружения самых различных размеров, устройств и назначений, выстроенные в районах вечной мерзлоты, подвергаются непрерывным деформациям и даже разрушаются, что вызывает большой непроизводительный расход труда и средств. В некоторых местах деформации столь значительны и принимают настолько массовый характер, что возникают сомнения в возможности возведения сооружений совершенно свободных от деформаций.

На самом деле это не так, и деформации, хотя велики и часты, но не обязательны и не неизбежны. В громадном большинстве случаев в деформациях виноваты не столько особые местные условия, сколько слабая осведомленность самих строителей, недостаточная подготовленность их для работы в этой области и неучет своеобразных местных условий. Опыт показывает, что строительство в условиях вечной мерзлоты возможно, но оно требует знания вечной мерзлоты и сопутствующих ей явлений, а также умения учитывать местные обстоятельства.

Умелый выбор места для сооружения, назначение подходящих конструкций и устройств, сообразованных с выбранным местом, сознательное применение комплекса мероприятий по предохранению сооружения от деформаций и правильное производство работ, технически грамотное и увязанное с местными мерзлотными условиями, почти во всех случаях способны гарантировать безопасность сооружений.

Рассмотрение известных случаев деформаций сооружений и связанных с этим обстоятельств помогает найти причины деформаций, определить конструкции и мероприятия, обеспечивающие сохранность сооружений в этих условиях, а также выяснить, как следует выбирать место для строительства.

В основном все деформации вызываются следующими главнейшими причинами: 1) явлениями выпучивания отдельных частей или даже целых сооружений и 2) явлениями осадок, тоже части сооружения или иногда целого сооружения.

Как выпучивание, так и осадка, происходят внезапно и весьма неравномерно. В результате осадок или пучения сооружения наклоняются, перекашиваются и искривляются в плане, в них образуются трещины, часто очень большие. Раз начавшись, осадки редко скоро прекращаются и обычно приводят к значительным повреждениям. Выпучивания повторяются ежегодно в зимние месяцы и в конце концов способны вывести сооружение из строя.

Причиной осадок является протаивание верхней части слоя вечной мерзлоты, служащего основанием для сооружения. Пучение происходит вследствие замерзания весьма влажного верхнего слоя почвы, названного ранее деятельным слоем. Пучащийся влажный грунт увлекает в своем пучении смерзшиеся с ним опоры сооружений.

В некоторых случаях сооружения подвергаются деформациям вследствие образования вблизи них или даже под ними наледей, которые способны залить водой и заполнить льдом ту или иную постройку, и кроме того могут повредить сооружение механически при взрыве наледного бугра.

Особо следует выделить деформации земляных сооружений, подвергающихся пучению, осадкам, воздействию наледей, проникновению мерзлоты в тело сооружений и сплывам от размокания грунта.

В дальнейшем подробно рассмотрены основные виды деформаций в целях уяснения их характера и размеров, установления причин и исследования сопутствующих им обстоятельств.

§ 5. ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПУЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ

1. Общие замечания

Деятельный слой, как это было установлено в главе I, весьма влажен, часто даже переувлажнен и при замерзании зимой сильно пучится. Пучению подвергаются нередко большие площади.

В обычных условиях, вне районов распространения вечной мерзлоты, принято считать, что пучинистыми грунтами, способными давать заметные пучины, являются глины и глинистые грунты.

В условиях вечной мерзлоты при высокой влажности грунтов и при подтоке надмерзлотных вод, вследствие весьма низких температур воздуха, достигающих минус 40—50°, а также

следствие наличия жесткой постели у верхнего слоя грунта в иде мерзлоты или скалы, пучинистыми грунтами оказываются всякие грунты и даже, в особо неблагориятных случаях, гравелистые и крупнопесчанистые, особенно сли они не совсем чистые и содержат ил.

Теория пучения грунтов рассмотрена в работах М. И. Сумгина, роф. Войслава и С. Тебера и поэтому в дальнейшем подробно не ассматривается. Здесь приводятся только основные моменты того явления, разъясняющие его сущность, что необходимо для зучения деформаций сооружений.

В природных условиях при замерзании некоторого слоя грунта, сли последний достаточно влажен, в нем образуются кристаллы ьда, которые увеличивают объем грунта и тем вызывают его пуение, заставляя подняться поверхность почвы. В пучении или увеличении при замерзании данного объема грунта в естественых условиях принимает участие не только та вода, которая меется в этом объеме, но и в большинстве случаев еще некоторое, довольно значительное ее количество, притекающее со тороны, что сильно увеличивает объем пучащегося грунта сверх ормального 9% увеличения объема воды, содержащейся в грунте перешедшей в мерзлое состояние, т. е. обратившейся в лед.

Проф. Войславу удалось получить в лабораторных условиях, ри наличии неограниченного капиллярного подтока воды, наибольшее увеличение объема грунта до 140% от первоначального. Американский исследователь С. Тебер указывает, что он наблюдал увеличение объема грунта в данном месте на 160%.

Подток воды в замерзающий слой грунта происходит под действием капиллярного поднятия, а также вследствие действия сил ристаллизации при образовании льда, т. е. напряжений в грунте, оявляющихся при замерзании, и, наконец, вследствие наличия наора грунтовых вод, создаваемого самим промерзанием грунтов, иногда существовавшего ранее из-за местных условий.

Причины подтока воды имеют практический интерес, ибо в зависимости от них можно принять те или иные меры, препятствующие подтоку, и следовательно уменьшить или даже уничтожить учение.

Возможность поднятия воды в мерзлом грунте не представляется невероятной, ибо многими опытами и исследованиями очно установлено, что вода в волосных трубках не замерзает при раздо более низких температурах, чем наблюдаемые в грунте в ссматриваемых условиях.

Увеличение объема при переходе воды в лед происходит мгновенно, отчего и пучение носит скачкообразный характер.

В приведенном выше описании явление пучения грунта поставлено в зависимость от количества воды, содержащейся в грунте способной притекать в замерзающий грунт со стороны, и не язано с характером самого грунта. В действительности хорошо енирующие грунты обычно содержат меньше влаги и к тому же ладают меньшей капиллярностью. Поэтому пучение этих груна наблюдается реже и оно меньше по величине, хотя и доста-

точно велико для того, чтобы вызвать деформации многих стро тельных конструкций.

Как показывают наблюдения, при прочих равных условиях, і чение сооружений увеличивается: 1) с увеличением содержания грунте количества глинистых и илистых частиц; 2) с понижени температуры; 3) при малой сжимаемости грунта, подстилающе деятельный слой; 4) с возрастанием, до известных пределов, мо ности слоя пучащегося грунта и иногда 5) с увеличением скоро промерзания грунта.

Из практики известно, что наиболее пучинистыми грунта являются глинистые и илистые, а наименее пучинистыми — гра листые и галечные.

Скорость промерзания грунта при полном насыщении его вод вообще почти одинакова для всяких грунтов, но в естественн условиях скорость зависит от состояния поверхностного покро почвы, так как им обусловливается та или иная скорость поступ ния холода в грунт; кроме того скорость промерзания грунта м жет быть повышена помещением в грунт опоры сооружения, сп собной служить проводником низкой температуры.

Малосжимаемыми являются все грунты, скованные вечн мерзлотой, и поэтому во всех случаях, когда деятельный сл расположен непосредственно на слое вечной мерзлоты, явлен пучения проявляется особенно резко. То же можно сказать и п случаи, когда деятельный слой подстилается скалой.

Пучащимся слоем является деятельный слой, но он принима участие в выпучивании сооружений не в одинаковой мере п своей высоте. Обычно самая верхняя часть деятельного слоя участвует в выпучивании, а нижние слои пучатся очень мало, и они не находят нужного количества воды вследствие промерзан надмерзлотных вод, и их температура не падает так низко, к температура верхних слоев.

С другой стороны, в каждый данный момент в пучении пр нимает участие некоторый небольшой слой грунта; уже промер шие и подвергшиеся пучению слои грунта пучатся очень мало и вовсе не пучатся, как это и было указано К. Д. Морозовым в е работе.[1] Это же теперь в известной мере подтверждается оп тами Н. И. Быкова на мерзлотной станции, где по его мнению п деятельном слое в 2—2,5 *м* выпучивающий слой не превыша 1,5 *м*.

В основных чертах пучение грунта происходит следующ образом. При понижении температуры воздуха ниже нуля нас пает постепенное охлаждение грунта, различное для данного мерзающего слоя на разных глубинах от поверхности зем Большая часть воды, содержащейся в грунте, тотчас же прев щается в лед, а меньшая часть переохлаждается ниже нуля, замерзая. Из-за превращения воды в лед грунт увеличивае в объеме, т. е. пучится.

Вследствие подтока воды из нижележащих еще незамерзш

---

[1] К. Д. Морозов, Проектирование и сооружение мостов в услов вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1936, стр. 48—49.

слоев почвы, в слой замерзшего грунта поступает некоторое новое количество воды. Эта вода, проникая в волосные трещины в мерзлой массе, соединяется с имеющейся там переохлажденной водой и, переохлаждаясь сама, затем частично замерзает, обволакивая уже ранее образовавшиеся в грунте кристаллы льда, способствуя этим их росту и вызывая дальнейшее пучение. Часть же воды продолжает оставаться переохлажденной.

Далее в замерзший и замерзающий грунт снова поступает некоторое количество воды и процесс повторяется пока не прекратится приток воды; тогда пучение прекращается.

В приведенном описании процесс пучения несколько упрощен, ибо на самом деле подток воды происходит не скачками, а более или менее непрерывно, но это не меняет существа вопроса.

Переохлажденная вода мгновенно переходит в лед, отчего и пучение скачкообразно, а не нарастает постепенно. Одновременное замерзание значительного количества переохлажденной воды обусловливается тем, что переохлаждение воды возможно в данных условиях только до определенного предела, после чего вода должна превратиться в лед. С другой стороны, этому способствует то обстоятельство, что напряжения, возникающие в мерзлой массе почвы под влиянием понижения температуры, вызывают деформации, колеблющие замерзшую кору и действующие на переохлажденную воду в волосных трещинах грунта подобно встряхиваниям.

Наличие колебательных деформаций в грунте осенью при замерзании почвы отмечается сейсмологами.[1]

Следует предположить на основании предыдущего, что в любой период времени на сооружение может действовать только один относительно небольшой действительно активный слой, пучащийся в данный момент.[2] Можно считать, судя по некоторым данным, что в естественных условиях толщина этого действительно активного слоя при промерзании деятельного слоя (считая от поверхности) будет возрастать, пока промерзание не проникнет до некоторой глубины, а затем, достигнув какого-то максимума, должна падать по мере углубления промерзания. В соответствии с этим процесс пучения должен сначала ускоряться и возрастать, а затем, достигнув максимума ускорения, — замедляться.

К сожалению, вопрос об условиях и обстоятельствах промерзания деятельного слоя в естественных условиях не был подвергнут тщательному изучению. Поэтому до сих пор неизвестны скорость промерзания грунтов, ее динамика и другие важные обстоятельства явления.

Для исследования явления выпучивания сооружения при промерзании деятельного слоя удобно рассмотреть в качестве примера выпучивание некоторой опоры в виде столба, весом Q, нагруженного внешней нагрузкой P и заглубленного в грунт на не-

---

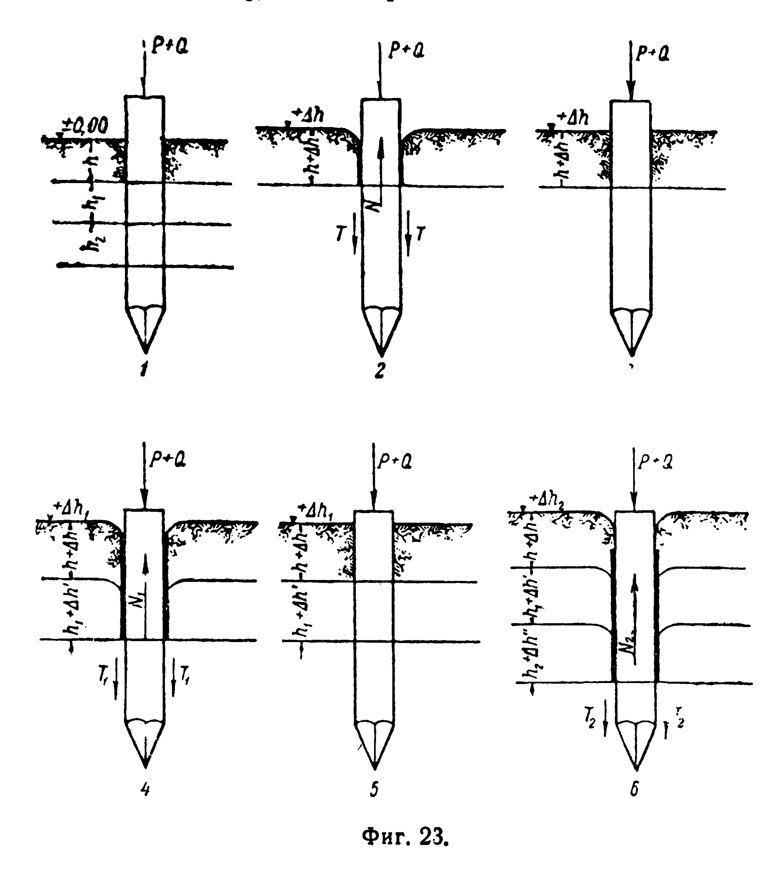
[1] Б. Гутенберг, Строение земли, ОНТИ, 1934.

[2] К. Д. Морозов, Проектирование и сооружение мостов в условиях вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1936, стр. 18.

которую глубину Σh (фиг. 23). Явление протекает следующи образом.

Допустим для удобства изучения вопроса, что весь процес условно разбит на этапы, совершающиеся в пределах некоторог отрезка времени, и предположим, что в данный период времен промерзает некоторый определенный слой, сначала h, затем h_1 наконец h_2 и т. д.

Сначала при наступлении холодов замерзает некоторый верх ний слой грунта h, прочно смерзаясь со стойкой, помещенно



Фиг. 23.

в его среду. Замерзание этого слоя вызывает его пучение вслед ствие перехода воды, содержащейся в нем и притекшей со стороны в твердую фазу — в лед.

Пучащийся грунт, смерзшийся с опорой, стремится подня стойку, заняв положение 2. Этому сопротивляются трение T, во никающее между поверхностью стойки и талым грунтом, леж щим ниже замерзшего слоя, вес самой стойки Q и внешняя н грузка P. Выпучивающее усилие N передается стойке некотор площадью, по которой произошло в данный момент смерзан стойки с пучащимся грунтом. Усилие N должно преодолеть сумм сил $\Sigma S = T + Q + P$.

Если соединение между мерзлым грунтом и стойкой недостаточно прочно, так что общая прочность смерзания данного слоя грунта не превышает сумму сил ΣS, примерзший слой грунта отрывается от стойки и занимает положение 3, образовав пучину, отчего дневная поверхность грунта у стойки поднимается на некоторую высоту Δh по сравнению с первоначальной; вокруг стойки образуется щель.

Далее, вода из нижних слоев грунта вследствие подпора (фиг. 4) поступает в образовавшуюся щель и в уже замерзший слой грунта. Продолжающееся проникание промерзания вглубь грунта промораживает новый слой почвы, причем последний также смерзается с опорой. При этом частично или даже полностью восстанавливается смерзание со стойкой и первого (верхнего) замерзшего слоя.

Второй вновь замерзающий слой и отчасти первый уже замерзший, но теперь получивший новое количество воды, увеличиваются в объеме и вызывают новое выпучивание грунта. Отметка дневной поверхности повышается еще до $+\Delta h_1$, заняв положение 4. Теперь в стойке возникает новое выпучивающее усилие N_1. Оно больше чем N, так как пучащийся слой мощнее, ввиду того, что в пучении принимает участие не только данный слой h_1, но и отчасти первый слой h, а кроме того промерзание вероятно будет происходить при большем подтоке воды. Сопротивление этому усилию оказывает сумма сил $\Sigma S_1 = T_1 + Q + P$ меньшая, чем ΣS, ибо T_1 уменьшается при проникании промерзания вглубь.

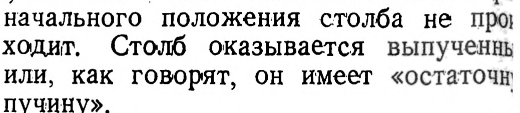
Новое выпучивающее усилие N_1 передается стойке поверхностью, по которой в данный момент произошло смерзание стойки с грунтом. Эта поверхность вообще неопределенна и равна примерно толщине слоя h_1, вновь замерзшего в данный момент времени, плюс часть высоты или даже может быть вся высота h первого слоя. Как и в предыдущем цикле, если смерзание стойки с промерзшим грунтом слабое, сила N_1 не может быть передана стойке, и сила ΣS_1 вызовет отрыв примерзшего к стойке грунта и повторное появление щели вокруг опоры; грунт примет положение 5.

Промерзание какого-то третьего слоя h_2 повторит в общих чертах предыдущее и приведет к положению 6. Поверхность земли выпучится до отметки $+\Delta h_2$. Появится новое выпучивающее усилие N_2. Смерзание опоры снова произойдет по некоторой поверхности, определяемой диаметром опоры и высотой h_2 плюс некоторая неопределенная часть суммы $h + h_1$. Если и теперь прочность смерзания все-таки незначительна и не превосходит $\Sigma S_2 = T_2 + Q + P$, то выпучивание опоры не произойдет. Если же смерзание стойки с промерзшим грунтом будет значительно, и получившаяся общая прочность смерзания превысит силу сопротивления стойки ΣS_2, то стойку выдернет из грунта на некоторую высоту $\Delta h_2 + \Delta h_1$, т. е. она, как обычно говорят, будет выпучена.

Дальнейшее промерзание последующих слоев грунта поведет к увеличению выпирания стойки из грунта.

4*

По большей части после выпучивания столба, в пустоту, обр зовавшуюся под столбом, просачиваются вода и жидкий грун Вода замерзает и образует под столбом лед. (фиг. 24). Лет этот лед тает и столб немного оседает. Натекший в пустоту жи кий грунт там и остается, так что полное восстановление перв

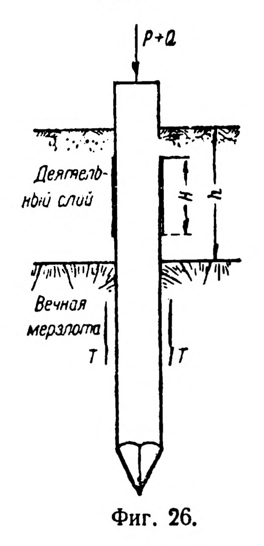


начального положения столба не прои ходит. Столб оказывается выпученны или, как говорят, он имеет «остаточну пучину».

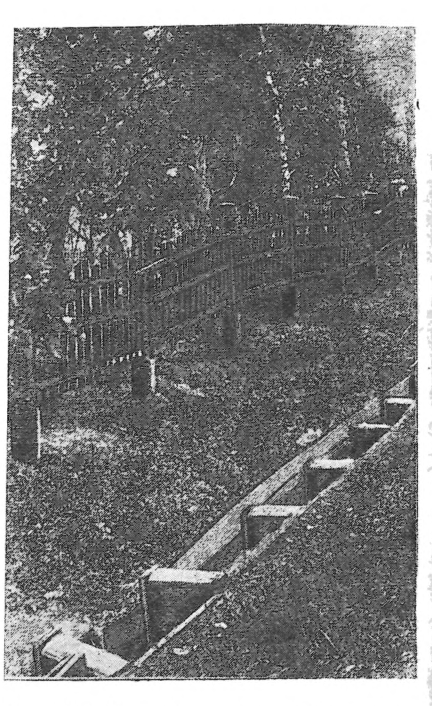
Фиг. 24. Лед в полости, образовавшейся под выпученной стойкой.

Повторение явления в течение нескол ких лет приводит к тому, что столб с вершенно вылезает на поверхность земл

Выпученные столбы забора показа на фиг. 25. На фотографии ясно вид неравномерность пучения столбов.



Фиг. 26.



Фиг. 25. Выпученные столбы ограды и деформированные лотки.

Основываясь на описанном, кажется правильным и логичн предположить, что при наличии смерзания столба с деятельны слоем на протяжении некоторой высоты H (фиг. 26), при некотор средней временной прочности смерзания материала столба с гру том, τ — выпучивающее усилие — равняется

$$N = H \cdot \tau \cdot p,$$

где p — периметр сечения столба.

Для выпучивания стойки при конкретных заданных и определяемых местными обстоятельствами величинах H и τ (фиг. 26) должно существовать следующее условие:

$$H \quad \tau \cdot p \geqslant T + Q + P. \qquad (1)$$

Иначе говоря, если при данных размерах опоры высота смерзания опоры с грунтом H и временная прочность смерзания r достаточно велики для того, чтобы передать выпучивающую силу, способную преодолеть сопротивление опоры пучению, т. е. $T + Q + P$, то выпучивание произойдет. На этих соображениях основан метод расчета возможности выпучивания опоры, предложенный в свое время Н. А. Цытовичем. Этот метод построен логично и технически правилен. Однако и сейчас трудно установить, какие величины H и τ должны быть приняты при расчетах.

В первоначальных расчетах в запас прочности принималось, что высота H должна равняться всей высоте деятельного слоя, а прочность смерзания назначалась на основании лабораторных данных. При этом последняя величина ставилась в зависимость от льдонасыщенности и температуры смерзающегося грунта.

Степень льдонасыщенности определяется приближенно по формуле:

$$J = \frac{W}{W_n},$$

где W — весовое содержание льда (воды) в грунте (влажность мерзлого грунта);

W_n — полная влагоемкость того же грунта после оттаивания.

Нормы ОСТ № 90032—39 для расчетов этого рода рекомендуют назначать величину τ по таблице, приведенной в § 13 п. 5, ОСТ, табл. 4 (стр. 158).

Такое назначение величин H и τ приводит к несколько парадоксальным результатам. Если даже взять не самые худшие условия, например предположив, что мощность деятельного слоя равна 200 *см*, а τ назначить по упомянутой таблице ОСТ для льдонасыщенности равной 1, то для столба диаметром $d = 20$ *см* выпучивающее усилие при температуре грунта только при —1° С получится:

$$N = 3{,}14 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 6 = 75\,360 \text{ кг}.$$

Вместе с тем сопротивление этой сваи на разрыв при лесе невысокого качества равно:

$$E = \frac{3{,}14 \cdot 20^2}{4} \cdot 200 = 62\,800 \text{ кг}.$$

Так как $N > E$, то надо предполагать, что пучение способно разорвать столб, чего в действительности никогда не наблюдалось. В других случаях N могло бы оказаться может быть и меньше E, но во всяком случае оно равнялось бы нескольким десяткам тонн, тогда как нагрузка на стойки $d = 20$ *см* весьма редко превышает 10 *т*, и следовательно все стойки должны

были бы подвергаться выпучиванию, что тоже не всегда имее| место.

С другой стороны, все попытки спроектировать стойки, кото| рые были бы способны противостоять пучению, определенном вышеприведенным способом, неизменно, несмотря на безукориз- ненную логичность расчета, приводят к конструкциям и устрой- ствам, которые никак не могут быть оправданы. Очевидно, дел здесь в величинах H и τ , вводимых в расчет. Видимо они сильн преувеличены.

Действительно, на практике неоднократно наблюдалос (О. И. Финк и др.), что верхняя часть деятельного слоя не при мерзает к стойке при дальнейшем проникании в грунт отрица- тельных температур.

Н. И. Быков, посвятивший немало времени изучению вопрос о пучении столбов, полагает, что для районов, где деятельны слой составляет 2—2,5 *м*, в пучении участвует не весь деятель ный слой, несмотря на его 30% влажность, а только его част не более 1,50 *м*, что составляет всего около 60—75% от дея тельного слоя.

К аналогичному заключению пришел и К. Д. Морозов в свое работе в 1936 г.,[1] рассмотрев процесс пучения и учтя имеющиес по этому вопросу данные.

Что касается величины τ, то данные ОСТ, приведенны в § 13, п. 5, ОСТ, табл. 4, в свете новейших исследований предст вляются недостаточными для расчетов, определяющих прочнос смерзания опоры с грунтом в естественных условиях.

Инженер Н. И. Быков рядом опытов на площадке мерзлотн станции установил, что прочность смерзания для грунтов эт станции не превышает 120—200 *кг/пог. см* периметра опоры, ч в соответствии с его другим указанием о том, что пучащим сло является слой не более 150 *см*, дает силу смерзания максим 1,3 *кг/см*^{2} для сравнительно плохих условий опытной площадки переувлажненными пылеватыми суглинками. Вообще на основан данных его опытов можно найти прочность смерзания в средн равной от 0,6 до 1,3 *кг/см*^{2}.

По данным В. К. Яновского, проведшего на Воркуте ряд оп тов в естественных условиях по определению прочности смерз ния деревянных свай с грунтом, эта сила колеблется меж 0,8 и 1,2 *кг/см*^{2}.

П. И. Мельников, поставивший такие же опыты в Якут тоже в естественных условиях, нашел прочность смерзания р ной около 1 *кг/см*^{2}.

Для окончательного установления величин τ в разных ус виях и для различных грунтов необходимо провести ряд нов опытов. Пока же кажется допустимым для предварительн расчетов, на основании опытов упомянутых лиц, принять следу щую прочность смерзания (табл. 5), поставив ее в зависимость льдонасыщенности и от температуры грунта, в соответст

---

[1] К. Д. Морозов, Проектирование и сооружение мостов в услов вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1936, стр. 49.

Таблица 5

Предлагаемые значения прочности смерзания τ в *кг/см²* для приближенного расчета выпучивающего усилия

Грунт	Температура грунта							
	−1°				−10°			
	Степень льдонасыщенности							
	0,25	0,50	0,75	1—1,40	0,25	0,50	0,75	1—1,40
Мелкозернистые, супесчаные, суглинистые, глинистые, пылеватые и илистые грунты с деревом	0,40	0,50	0,70	1,00	0,50	1,20	2,20	2,60
То же с бетоном .	0,40	0,60	0,80	1,20	0,60	1,40	2,60	3,20

с соотношениями между льдонасыщенностью и величинами τ, принятыми в ОСТ № 90032 — 39.

Следует отметить, что наиболее интенсивное пучение наблюдается не сразу после наступления холодов, а несколько позже, через месяц и более. Поэтому при расчетах принятую высоту промерзшего слоя полезно условно делить на две части, одну с более низкой, другую с более высокой температурой.

После изучения средних температур почвы на разных глубинах деятельного слоя, найденных в ряде мест, можно принять для верхней половины промерзшего слоя —10°, а для нижней —1°.

В таком случае можно предложить для определения выпучивающей силы пользоваться следующей формулой:

$$R = \frac{0{,}75h \cdot p \cdot \tau}{2} + \frac{0{,}75h \cdot p \cdot \tau_1}{2} \approx 0{,}38 h \cdot p(\tau + \tau_1), \qquad (2)$$

где h — высота деятельного слоя в *см*;
p — периметр фундамента в *см*;
τ — прочность смерзания в *кг/см²* при температуре 1° (по табл. 5);
τ_1 — то же при температуре 10° (по табл. 5).

Для предыдущего примера получится

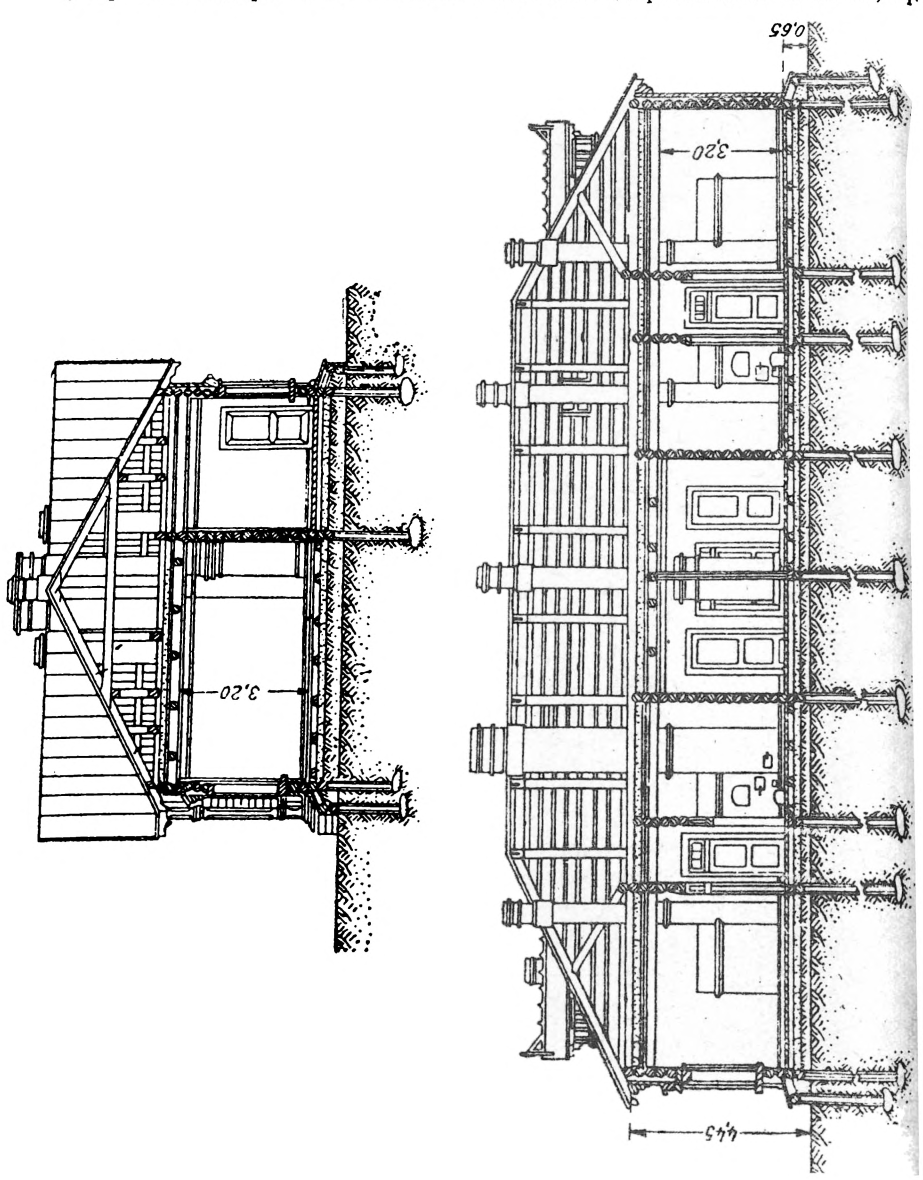
$$N = 0{,}38 \cdot 200 \cdot 3{,}14 \cdot 20\,(1{,}20 + 3{,}20) = 21\,000 \ \textit{кг}.$$

Это и есть выпучивающее усилие, как кажется, наиболее близкое к его истинной величине.

Нельзя не оговориться, что данные табл. 5 должны служить лишь для предварительных расчетов. Для окончательного расчета необходимо настоятельно рекомендовать не пользоваться табличными данными, а определять расчетную прочность смерзания для каждого случая путем тщательных испытаний на строительной площадке.

2. Деформации сооружений

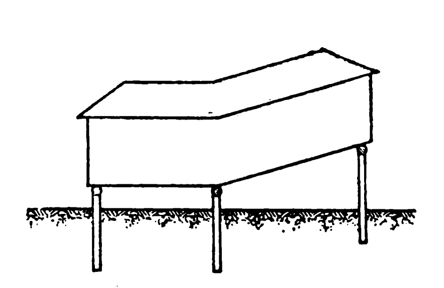
Как конструкция, столбы находят применение в строительст зданий в виде стульев, заглубленных в грунт, и свай. Типов устройство деревянного жилого дома на деревянных столбах, вр



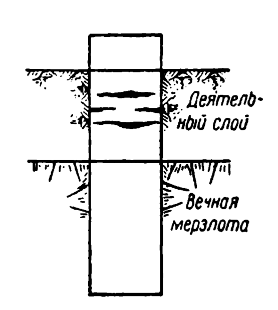
тых в землю, показано на фиг. 27. Такие здания часто встречают в районах, занятых вечной мерзлотой, ибо они были приняты первых постройках железных дорог. Конструкция понятна чертежа.

Пучение стульев в таких зданиях приводит к деформациям, схематическое изображение которых приведено на фиг. 28. В результате пучения стульев деревянные здания принимают наклонное положение, у них перекашиваются полы, расходятся венцы сруба, образуя щели. В теплое время года выпученное сооружение оседает, стремясь занять первоначальное положение. Иногда, как было сказано раньше, в пустоту под столбом попадает грунт и осадка не происходит, или же получается неполная осадка. В следующую зиму пучение повторяется и возникают новые деформации тех же или даже других стульев. В результате этого здания довольно скоро приходят в негодность, несмотря на ежегодный ремонт и исправления.

Каменные столбы тоже подвергаются выпучиванию. Заложенный глубоко каменный столб оказывается как бы защемленным в слое грунта, лежащем ниже деятельного слоя, вследствие трения



Фиг. 28. Схематическое изображение деформаций деревянного здания на стульях.



Фиг. 29. Разрыв кладки каменного столба при пучении.

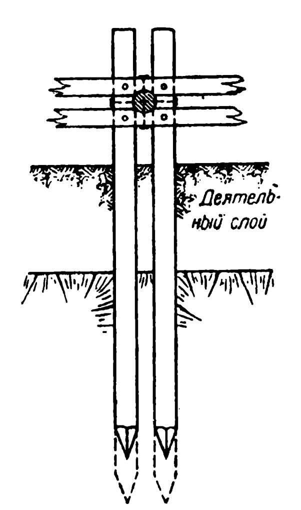
или смерзания со слоем вечной мерзлоты; он может быть разорван пучением верхней части деятельного слоя и в нем появятся горизонтальные трещины (фиг. 29). Трещины, возможно, заполнятся жидким грунтом и тогда летом выпученное зимой сооружение сохраняет принятое при выпучивании положение. Если этого не произойдет, здание осядет и примет первоначальный вид, а трещины закроются. Но очевидно, что явление пучения, повторяясь ежегодно и будучи неравномерным, способно довольно скоро и в этом случае привести постройку в полную негодность.

Деревянные сваи различных сооружений, например эстакад, мостов, погруженные недостаточно глубоко в грунт, тоже часто выпучиваются в зимние месяцы. Деформации свайных сооружений сопровождаются разрушением схваток, затяжек, а также полным расстройством большинства соединений и врубок. Пучение свай, как и столбов, происходит не сразу на полную высоту, а скачками в течение всего периода промерзания деятельного слоя. Особенно сильно выпучивание опор, вокруг которых деятельный слой состоит из глинистых, пылеватых или илистых грунтов. Пучение свай нередко встречается и при песчанистом деятельном слое.

Наибольшая наблюденная величина выпирания стоек и свай мостов доходила до 2 *м*. Обычно же за одну зиму она не превышала

40—60 *см*. Летом выпертые сваи нередко садятся, но почти всег не до своего первоначального положения; вследствие этого за н сколько лет накопляются значительные остаточные деформац препятствующие нормальной эксплоатации сооружения.

Пучение свайных сооружений происходит неравномерно в п перечном и в продольном направлениях. В мостах замечено, ч сваи, стоящие в пределах конусов насыпи, не пучатся если сл насыпного грунта над поверхностью земли составляет 1,5—2,5 Сравнительно редко подвергаются деформациям сваи, помеща щиеся в водотоке, если толща слоя льда в нем составляет око 1 *м*. Сваи, наклонно забитые в грунт, обычно не подвергаются п чению, даже если они погружены на н большую глубину.



Фиг. 30. Выпучивание свай, недостаточно глубоко забитых в талый грунт ниже деятельного слоя.

По наблюдениям Н. И. Быкова, св заглубленные ниже деятельного слоя в сл вечной мерзлоты на 2 *м*, пучению не по вергались.

Сваи, забитые в талый грунт ниже де тельного слоя, в местах, где слой вечн мерзлоты отсутствует или залегает гораз ниже, в некоторых случаях (при высок влажности деятельного слоя) тоже выпир ются из грунта (фиг. 30), если их заглубл ние ниже деятельного слоя невелико. П достаточно большом заглублении свай ниж деятельного слоя на глубину, превыша щую высоту деятельного слоя на 1—1,5 т. е. на глубину 3—4 *м*, а всего окол 5—6 *м* от поверхности земли, деформаци не наблюдаются. Особенно большие и ч стые деформации встречаются в констру циях, опертых на лежни. Лежневые опор были очень распространены, например, п сооружении мостов, если непосредствен под деятельным слоем оказывался слой вечной мерзлоты или скала.

Громадное большинство сооружений на лежневых опорах в на стоящее время деформировалось, несмотря на принятые меры: пу чение опор стремились уменьшить путем выборки вокруг свай пу чащего грунта и заполнения котлована галечной засыпко (фиг. 31).

Деформация этих устройств заключается в том, что стойки от рываются от лежней, и в то время как последние остаются лежат на месте, первые приподнимаются на некоторую высоту (фиг. 32 Скобы, соединяющие стойки с лежнями, разгибаются и выдерги ваются из древесины, болты в хомутах гнутся и вырываются. Есл соединение очень прочное, то и лежни несколько поднимаютс кверху, причем этому предшествует сильная деформация дере и металлических скреплений. Ежегодное повторение деформаци сильно расстраивает конструкцию.

Лежневые опоры, как показывает практика, не следует приме нять для сооружений в этих условиях, за исключеним случаев ра

положения их в особо благоприятных условиях, например, при наличии сухих, хорошо дренирующих грунтов.

Разрез по А-Б

Разрез по Г-Д

Г.В.В.

Фосад

Продольный разрез

А

Г

Г.В.В.

2,10

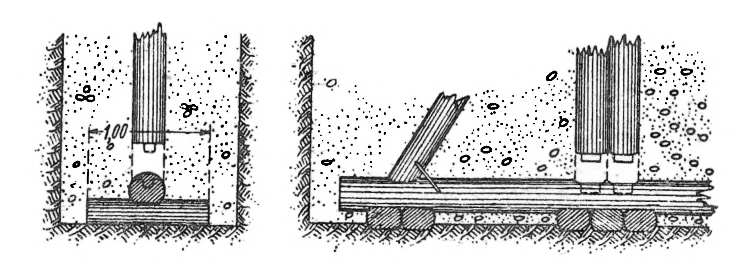
2,10

1,05

Б

Д

Фиг. 31. Неудовлетворительное устройство опор деревянного моста на лежнях, при пучинистых грунтах.



Фиг. 32. Отрыв стоек от лежней вследствие пучения.

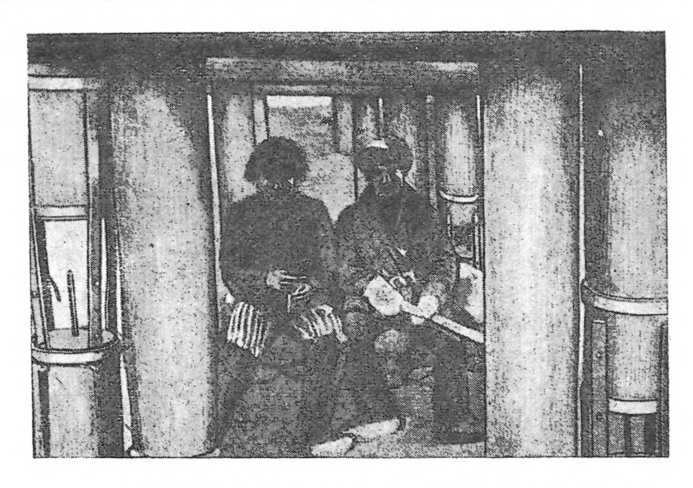
Стыки свай, сделанные в пределах деятельного слоя, всегда разрывает пучением, и верхняя часть сваи поднимается вверх даже при самых надежных скреплениях обычного типа. Отрывка земли

вокруг таких свай обнаруживает картину деформации, показанн на фиг. 33.

Здесь видны разорванные стыки крайних левой и пра свай моста; разрыв достигает 60 *см*. Хомуты сдернуты, ер в планках вырваны из древесины. Хотя грунт и отобран, но с не сели на место, ибо этому препятствует сильно деформирован верхняя конструкция.

Внешний вид деформированного деревянного свайного моста железной дороге приведен на фиг. 34. Мост, выпучившись, при горбатый вид; горб ясно виден на фотографии.

Каменные сооружения тоже нередко страдают из-за пучен деятельного слоя. В стенах здания появляются трещины, вызв ные неравномерным выпиранием фундаментов. Однако это срав



Фиг. 33. Разрыв стыков свай пучением.

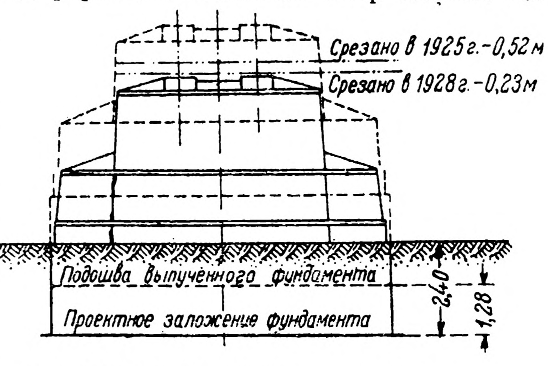
тельно редкие случаи деформаций каменных неотапливаемых зд ний. Большинство каменных зданий отапливается, поэтому пучен грунта возле зданий, вообще возможное даже в этих условиях, достигает такой интенсивности. Объясняется это тем, что каме ные здания чаще всего возводят в более или менее обжитой ме ности, где произведены различные мелиоративные дренажн мероприятия, отчего почва не содержит большого количества вод Кроме того, самое здание, являясь источником тепла и отдав отчасти это тепло грунту, препятствует быстрому проникновен низкой температуры в почву и вообще повышает температу почвы возле фундаментов, препятствуя очень прочному смерз нию. Вследствие этого пучение фундаментов каменных зданий в можно только в некоторых случаях при неблагоприятных обсто тельствах, в частности, если не приняты меры, позволяющие умен шить опасность деформации.

Очень интересен случай деформации пучением каменного зд ния реального училища в Якутске в 1913 г. Это здание с кирпи ными стенами было возведено на два этажа и оставлено на зи недостроенным. К весне оно оказалось сильно выпученным. Пос

исправлений и достройки и с началом эксплоатации здание уже не деформировалось.

Фиг. 34. Мост „горбатый" вследствие выпучивания средних свай.

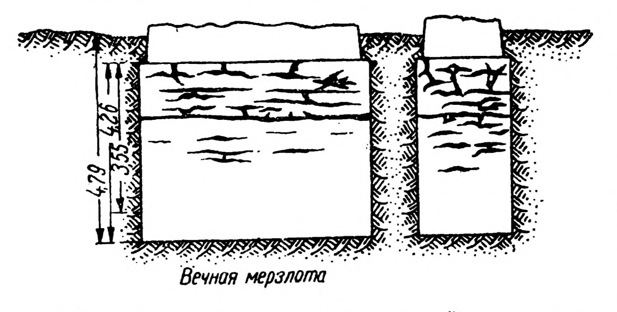
О возможной величине выпучивающего усилия можно судить по следующим примерам деформаций каменных опор мостов. Каменный бык железнодорожного моста с пролетами по 10,70 *м*, заложенный на глубине 2,40 *м* на одной из дорог в районе вечной мерзлоты, ежегодно выпучивался (фиг. 35). В течение 15 лет общая высота выпирания быка составила 128 *см*. Грунт вокруг опоры суглинистый. Ежегодно пучение быка начиналось в конце октября, усиливалось в январе — феврале и прекращалось в марте — апреле. Выпученный за зиму бык летом почти не садился. Шурфованием было установлено, что под его подошву набирался



Фиг. 35. Бык, выпертый из грунта пучением.

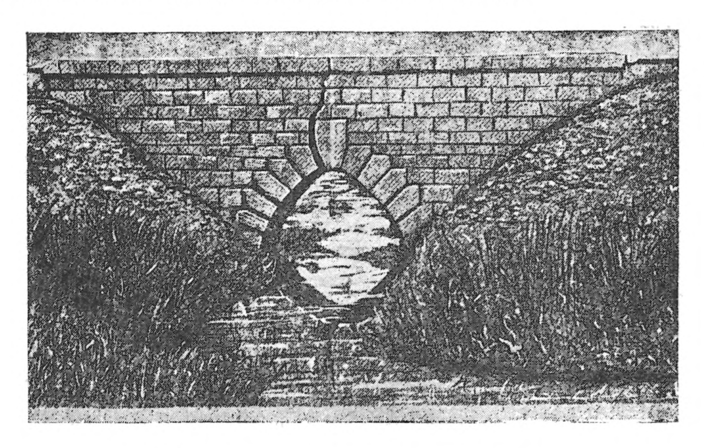
жидкий грунт и вода; они замерзали и препятствовали осадке быка. Грунт возле быка переувлажненный. Слой вечной мерзлоты залегает на глубине 1,60—1,70 *м* от поверхности земли.

Интересен и другой пример выпучивания быка моста с пролетами по 6,40 *м* (фиг. 36). Этот бык заложен довольно глубоко на скале. Отметка подошвы его — 4,80 *м* считая от уровня земли. Ключей на дне котлована не оказалось и закладка фундамента выполнялась без водоотлива.



Фиг. 36. Бык с разорванной кладкой вследствие пучения.

Бык подвергся деформациям через несколько лет после постройки. В кладке быка были обнаружены трещины. Для обследования состояния сооружения откопали верхнюю часть фундамента и обнаружили горизонтальные трещины в верхней его трети. В нижней части трещин не было, хотя опора была откопана на глубину более 4 *м* от поверхности земли. Горизонтальные трещины появились видимо вследствие пучения грунта, которое подняло верхнюю часть опоры и оторвало ее от нижней. Нижняя часть, тяжелая и заклиненная внизу в грунте, выпучилась очень мало. В июне месяце бык осел, но не вполне.

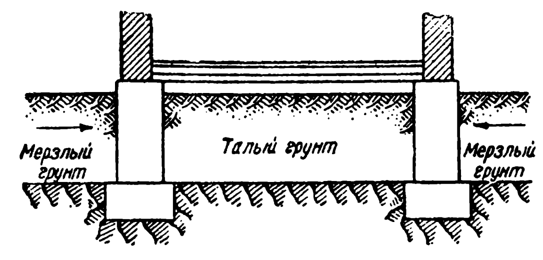

Фиг. 37. Труба, деформированная пучением.

Труба, деформированная пучением грунта, показана на фиг. 37. Труба опирается на раздельные фундаменты. Неравномерное и интенсивное выпучивание раздельных фундаментов вследствие обильной влажности грунта вызвало появление трещины в своде, затем распространившейся и на стенки над трубой.

Очень часто у труб пучащимся грунтом деформируются ого-

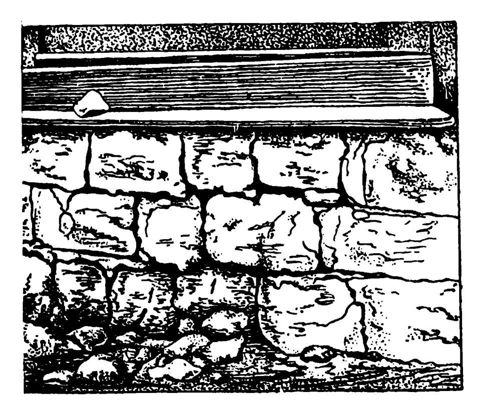
ловки и особенно откосные крылья. Последние почти всегда имеют трещины, идущие в вертикальном направлении, расширяясь к подошве фундамента; трещины особенно многочисленны в месте соединения с первым звеном у оголовка.

Крылья при пучении грунта работают как консоли и, так как кладка не способна работать на растяжение, отламываются от трубы в месте соединения с ней.



Фиг. 38. Деформация фундамента горизонтальным давлением, возникшим при пучении.

В некоторых случаях наблюдается разрушение каменных фундаментов зданий горизонтальными силами, развивающимися при пучении. Для появления таких сил нужны особые условия и поэтому такого рода деформации встречаются очень редко. Инж. В. А. Свиньин,[1] впервые выдвинувший этот вопрос, полагает, что при отапливаемом здании талый грунт, находящийся внутри некоторого замкнутого контура фундаментов, неспособен препятствовать расширению замерзающего снаружи грунта. Поэтому развивается одностороннее горизонтальное давление (фиг. 38), направленное внутрь здания. Под влиянием этого давления фундаменты вдавливаются внутрь контура здания и в них появляются трещины. Деформации фундаментов отражаются на стенах, в которых тоже возникают трещины.



Фиг. 39. Фундамент, деформированный горизонтальным давлением (фото проф. М. И. Евдокимова-Рокотовского).

Отрытый фундамент такого здания показан на фиг. 39. На ней ясно видны сильно вдавленные камни и разрушенная кладка.

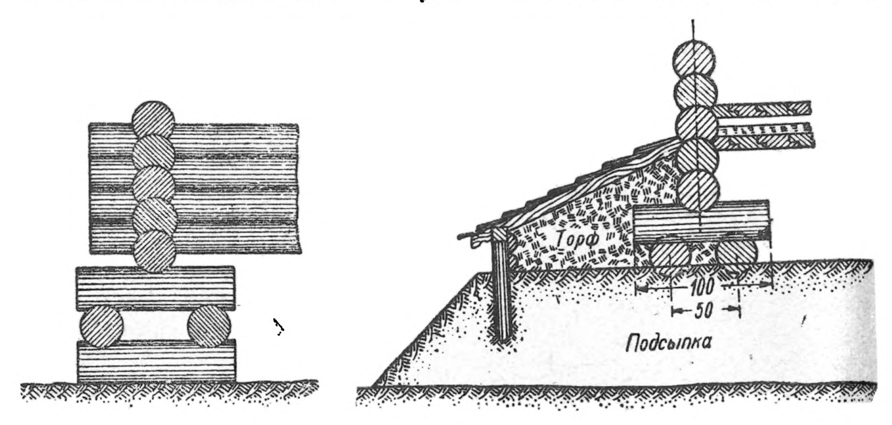
Стремясь приспособить постройку к изменениям уровня дневной поверхности грунта, строители довольно широко применяли для деревянных зданий лежневые опоры, или так называемые городки (фиг. 40). Это клетки из коротких бревен, уложенных крест-на-крест, на которые в нескольких местах опираются нижние венцы деревянного сруба. Городки укладывались прямо на грунт, с поверхности которого удаляли моховой и гумусовый слой. Иногда под городками грунт выбирается на некоторую глубину и заменяется галькой, гравием или песком. Предполагается, что здание, опертое таким образом, будет в известной мере следо-

[1] В. А. Свиньин, Статьи в журнале «Инженер», № 10, 1912.

вать изменениям дневной поверхности почвы при пучении ее отчасти, обладая некоторой жесткостью, будет выравнивать их.

Однако, как показывает опыт последнего времени, громадн большинство отапливаемых зданий на городках сильно деформ руется независимо от устройства, типа городков и от основан под ними. Вследствие деформаций между отдельными венцами п являются щели, соединения сруба расстраиваются, некоторые зд ния получают недопустимый наклон, перекашиваются, доски в пол расходятся, окна и двери заклиниваются. Некоторые деревянн дома начинают как бы тонуть в грунте, постепенно врастая землю.

Все это происходит потому, что деятельный слой часто весь влажен и обладает малой несущей способностью. Зимой он силы



Фиг. 40. Здание на городках. **Фиг. 41. Здание на городках, основанных подсыпке.**

пучится, а летом дает значительные осадки, особенно будучи п нагрузкой. Поэтому простое опирание зданий на грунт с помощь городков нецелесообразно и теперь применяется только для втор степенных деревянных, по преимуществу не отапливаемых здани

Такое положение привело к мысли строить здания на городк на особой подсыпке (фиг. 41) из хорошо дренирующего грун или из шлака, прикрытых сверху отеплением из торфа, мха и т. Подсыпка, во-первых, преграждает быстрое проникновение отриц тельных температур в почву и несколько уменьшает колебан температуры грунта под зданием и возле него; во-вторых, образу слой, способный распределить нагрузку от здания на бо́льшую п верхность деятельного слоя, и, в-третьих, несколько уменьша влажность грунта около здания.

Теоретически при помощи подсыпки можно достичь в верхн части деятельного слоя постоянной температуры около 0°, но д этого требуется, даже при подсыпке из материала с хорош термическим сопротивлением, насыпь довольно большой толщин Поведение зданий этого устройства мало известно, так как о встречаются редко.

По сведениям инж. В. А. Бялыницкого подобный дом имеется ı Сковородине. Он построен с проветриваемым подпольем на гоюдках и с шлаковой подушкой толщиной в 70 *см*; несмотря на это юм (по тем же сведениям) подвергается пучению.

§ 6. ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПРОТАИВАНИЯ СЛОЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

1. Общие замечания

Ранее в § 1 было отмечено, что верхняя граница слоя вечной ıерзлоты, даже в естественных условиях существования местюсти, непостоянна и претерпевает изменения часто от весьма незначительных причин. Тем более возможны значительные измененiия глубины залегания вечномерзлого слоя при появлении в данюм районе человека.

Появление человека сопровождается его хозяйственной деяельностью, которая резко нарушает обычный режим и характер ıрироды. Человек строит дороги, здания, расчищает местность, ıбрабатывает землю. В результате его деятельности уничтожается ерхний моховой и растительный покров почвы, лес частично вырубается, почва дренируется на участках, где возводятся постройки; на поверхности почвы возникают различные сооружения, ı среду деятельного слоя и вечной мерзлоты вводятся инородные ела — фундаменты, различные проводки; планировка местности, тведенной под населенные пункты, вызывает в одних местах резку, в других подсыпку грунта; к этому же приводит и проведеıие дорог. Все это весьма быстро и достаточно сильно отражается а существовавшем ранее режиме грунтовых вод, на влажности рунтов, а также на естественном температурном режиме почвы и риводит к тому, что верхняя граница слоя вечной мерзлоты заимает иное положение, чем до начала освоения района или участка.

В этих условиях верхняя граница вечномерзлого слоя по больıей части отступает вниз, но в отдельных случаях, при благориятном стечении обстоятельств, в некоторых местах уровень заегания вечной мерзлоты поднимается, приближаясь к поверхности очвы.

Изменение верхней границы слоя вечной мерзлоты крайне неıпределенно и колеблется в пределах нескольких метров. Сказать очно насколько понизится уровень слоя вечной мерзлоты почти евозможно, ибо изменение этого слоя в значительной мере завиит от режима грунтовых вод, а не только от поверхностного окрова почвы, и в соответствии с этим от установившегося обмена еплом и холодом между почвой и атмосферой.

Некоторым инженерам кажется, что изменение верхнего уровня лоя мерзлоты в местах, отводимых для строительства, можно становить опытным путем. В принципе это, конечно, возможно. Iо при этом никак нельзя пользоваться методом, по которому для становления нового положения границы вечной мерзлоты рекоменуется создать в данной местности небольшую площадку, наприер размером 30 × 30 *м*, оголить ее от растительности, снять

моховой и торфяной покров и полагать, что положение вер границы вечной мерзлоты, установившееся в течение года под кой оголенной площадкой, будет близким к тому положе уровня вечной мерзлоты, которое она займет в будущем, по окончания строительства. Это заблуждение, и оно может прив к многочисленным недоразумениям.

Площадка указанных размеров в ряде случаев не сможет д приблизительно дать представление о возможных изменен уровня вечной мерзлоты. Простое оголение поверхности земли большой площадки среди моря девственного покрова почвы ведет к неправильным и неожиданным результатам, не имею ничего общего с действительностью, ибо здесь режим грунто вод изменится совсем не так, как это происходит при освое большого участка, занимаемого постройками.

Необходимо отметить, что результаты наблюдений по всей ве ятности окажутся различными в зависимости от того, когда б произведено оголение и начаты наблюдения — осенью или вес Один год срок недостаточный для завершения цикла явлений, п исходящих на такой площадке. Однако для располагаем отдельно небольших зданий этот метод допустим, но при гора большей площадке.

Значительно правильнее решать вопрос о положении верх границы вечной мерзлоты на основании данных практики стр тельства в данном или аналогичных районах, а приступая к стр тельству, своевременно — не менее как за год до начала строите ства — произвести подготовку всего участка, расчистив и спла ровав его и произведя различные мелиоративные мероприятия, обходимые в будущем.

Следует иметь в виду, что по данным О. И. Финка и дру лиц, на основании опыта Амурской дороги, оттаивание слоя в ной мерзлоты и, следовательно, понижение верхней границы с вечной мерзлоты в освоенных районах в обычных грунтах прод жается в течение 4—5 лет, а в песчанистых грунтах 2—3 го Глубина наибольшего оттаивания почвы по линии Амурской и байкальской дорог, определенная в разных пунктах и разными тодами, по О. И. Финку, в среднем оказалась равной:

при определении шурфованием, бурением или щупом 3,50 *м*;
по термометрическим наблюдениям около 3,80 *м*.

Для мест, где был нарушен поверхностный покров, эта ве чина повышается в среднем до 4,30 *м* и максимум до 5,10 *м*. П этом сказанное более или менее справедливо для районов со ср ней годовой температурой воздуха около 1,8—2,5°, с толщин снегового покрова 25—45 *см*. В других районах эти цифры бу иными.

На затененных местах или на северных склонах приведен величины уменьшаются на 15—20%; на солнечных склонах они у личиваются на 10—15%.

Насколько может изменяться верхняя граница слоя вечной ме лоты под зданиями показывает табл. 6, содержащая несколько б лее или менее достоверных примеров.

:стные случаи изменения верхней границы слоя вечной мерзлоты под зданиями

Место и назначение здания	Глубина залегания верхней границы вечной мерзлоты в *м*		Примечание
	при постройке	позже	
Отапливаемое депо .	4	8	Через 12 лет
Ст. Сковородино Жилой дом	2,5	2	Через 6 лет
Ст. Магдагачи Водоем .	h	$h+3$	Через 2 года
Ст. Сковородино Сарай .	h	$h-0{,}74$	Мерзлота поднялась
Ст. Сковородино Неотапливаемое здание	h	$h-1{,}10$	То же
Здание силовой станции . .	1,2	6,7	Через 2 года
Ст. Сковородино Опытный жилой дом из дерева на деревянных сваях .	2,5	1,6	Через 1 год
Петровск-Забайкальск Опытный жилой каменный дом на бутовых фундаментах .	2,5	3,20	Через 3 года
Отапливаемое депо .	2,5	10	
Неотапливаемое депо .	2,5	2,5	Через 20 лет
Пассажирское здание	2,5	3,0	Деформировалось через 8 лет
Пассажирское здание	2,5	—	Разрушилось

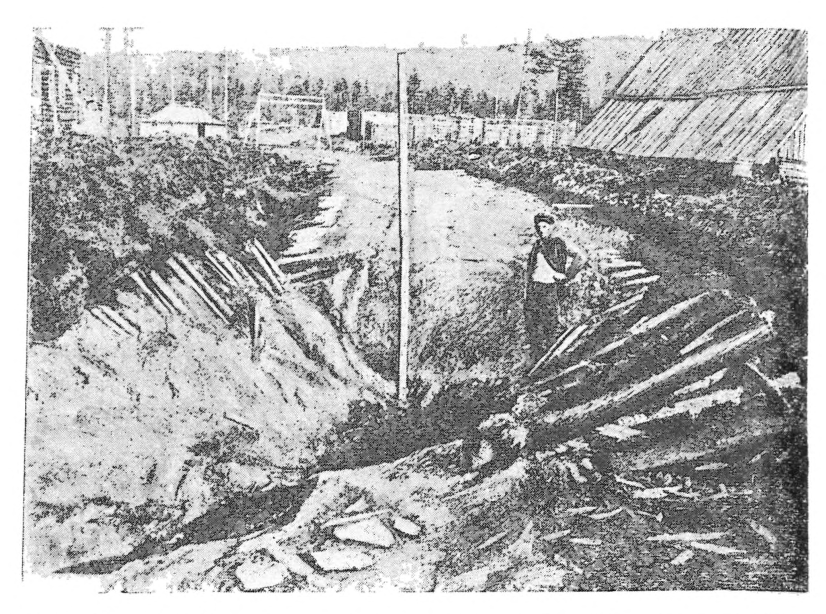
2. Деформации сооружений

Деформация сооружений, возведенных на слое вечной мерзы, происходит главным образом вследствие того, что мерзлота таивает, ее верхняя граница понижается и, следовательно, фун- іенты здания оказываются расположенными на оттаявшем нте. Последний же, будучи весьма слабым и влажным (часто :стым и плывунистым), не может нести нагрузку от фун- іентов и оседает, отчего в фундаментах и стенах появляются щины.

Уменьшение удельной нагрузки на единицу площади фунда- :та не препятствует деформациям, ибо по большей части мерз- а обладает обильной влажностью и переход ее в талое состоя- сопровождается значительным уменьшением объема грунта,* его вероятны осадки почвы, даже не нагруженной весом зда- Наиболее влажным (фиг. 3) является верхний горизонт слоя

вечной мерзлоты, а он то как раз чаще всего и служит основан для сооружения. Осадки постройки возможны и при неотта шей мерзлоте, если грунты, слагающие слой вечной мерзло суглинистые, пылеватые или иловатые и переувлажненные, а т пература их не сильно отличается от нуля (находится в преде до —0,5°).

Грунты песчанистые, и особенно гравелистые и галечные, да будучи переувлажненными, оттаивая не дают очень больших с док, а при влажности таких грунтов менее 30% по весу оса, их мало заметны и не опасны для сооружений, если только в гру



Фиг. 42. Провал почвы вследствие протаивания линзы льда (фото В. В. Еленевского).

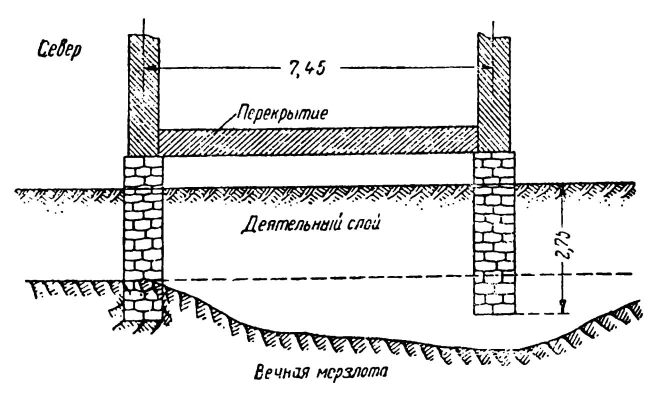
нет линз льда. Протаивание же линз льда или вообще больш включений погребенных льдов приводит к провалам почвы, большим, чем мощнее ледяные включения.

Провалы почвы при протаивании погребенных льдов очень лики, как это можно видеть из фиг. 42, изображающей пр времянки, устроенной на сплошных сланях. Деформация произо в конце лета, после того как вблизи времянки зимой была устро выемка для железнодорожного полотна, вследствие чего созда условия, способствовавшие протаиванию мерзлоты и линзы л залегавшей вблизи выемки.

Оригинальный случай значительной осадки почвы вследст таяния мерзлоты и ледяных включений в грунте от казалось незначительной причины сообщает О. И. Финк. Этот случай и место при постройке железной дороги. Вблизи разъезда скот топтал тропинку по болотистой мари и отчасти уничтожил пов

юстный покров почвы на мари возле тропинки. Летом вдоль тропинки произошла осадка поверхности местности более, чем на 70 *см*. В результате образовался новый тальвег, и построенный вблизи мост оказался в стороне от водотока. Из-за этого позже ливневыми водами размыло насыпь дороги. Весьма незначительная причина принесла серьезные осложнения.

В другом случае, при постройке одного промкомбината, с целью осушения местности были вырыты небольшие дренажные канавы, причем это было сделано без учета влажности и качества грунта. Так как грунт оказался пылеватым и плывунистым и имел большие включения льда, он стал сильно протаивать и пополз. Канавы превратились в промоины глубиной до 2,5 *м* и шириной до 4,5 *м*, по которым двигалась масса грунтовой жижи.



Фиг. 43. Понижение верхней границы слоя вечной мерзлоты под опытным каменным домом в Петровске-Забайкальском.

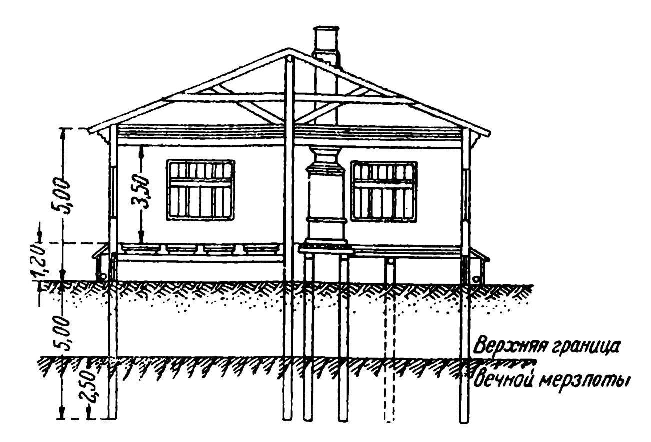
Помимо некоторого общего изменения верхней границы слоя вечной мерзлоты в данной местности при возведении ряда построек, каждое здание, в зависимости от своего назначения и устройства, оказывает частное влияние на уровень верхней границы мерзлоты вблизи здания и под зданием. Обычно в зданиях, построенных на сплошном бутовом фундаменте, под всей площадью застройки наблюдается общее потепление почвы и соответствующее общее понижение верхней границы слоя мерзлоты. Это было установлено Н. А. Цытовичем при обработке трехлетних наблюдений за температурой грунта под опытным зданием Петровско-Забайкальской мерзлотной станции.

Опытный дом имел сплошные бутовые фундаменты, заложенные на глубине 2,75 *м* на слое вечной мерзлоты с заглублением в этот слой на 0,50 *м*. Стены дома сделаны кирпичными, а перекрытия деревянными. Мерзлота под этим зданием с южной стороны протаяла на глубину около 1 *м*, и часть фундаментов оказалась расположенной на талом грунте (фиг. 43).

Тепло в грунт проводят отчасти фундаменты здания. Летом солнце, а зимой печи и другие источники тепла обогревают стены.

Тепло от стен переходит к фундаментам и вызывает протаива мерзлого грунта в основании фундаментов. Кроме того вся ма здания, нагреваясь и излучая тепло, частично передает его по М. И. Сумгин заметил, что в упомянутом опытном доме в Петр ске-Забайкальском влияние бутовых фундаментов на прогрева мерзлоты под домом ничтожно по сравнению с влиянием всей п щади застройки дома.

Едва ли это вполне верно, ибо второй опытный дом, постро ный в другом районе из дерева и на деревянных сваях (фиг. опущенных в слой вечной мерзлоты на 2,5 *м*, не оказал ни кого отрицательного влияния на положение верхней грани мерзлоты.



Фиг. 44. Поднятие верхней границы слоя вечной мерзлоты под опытным деревянным домом.

Наоборот, у этого дома уровень поверхности мерзлоты подня по сравнению с прежним. Правда, второй дом деревянный и к тому он имел проветриваемое зимой подполье, тогда как, судя по о санию М. И. Сумгина и Н. А. Цытовича,[1] первый каменный д имел подполье, которое должно было проветриваться летом.

Сравнивать эти здания трудно, так как они из разного матери и устроены различно. Очень возможно, что и у каменного до несмотря на материал здания и на устройство фундаментов, ес бы он имел проветриваемое подполье, мерзлота не протаяла бы, у деревянного здания, если бы оно было без проветриваемого по полья, произошло бы таяние мерзлоты.

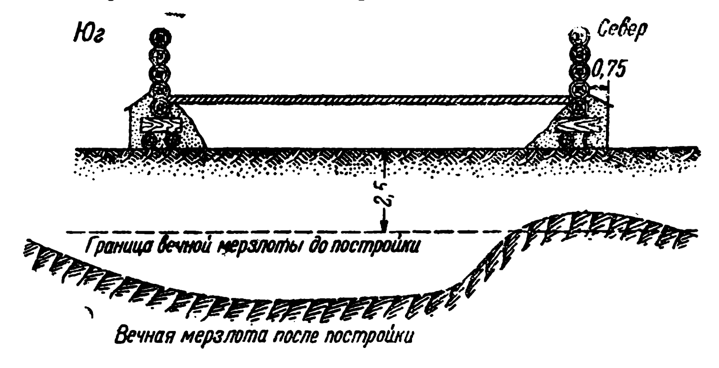
Известно, что прогрев почвы и понижение верхней грани слоя вечной мерзлоты под зданиями происходят и тогда, ког здание вообще не имеет фундаментов, например, под зданием городках. Тем не менее нельзя пренебрегать влиянием фундамен на прогревание мерзлоты; оно не столь ничтожно, как кажется, ч

[1] Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основания механики мерз грунтов, 1938, стр. 349.

одтверждается протаиванием мерзлоты под каменными фундаментами неотапливаемых сооружений, в частности, под опорами мостов.

Наибольшее протаивание мерзлого слоя под зданиями, как правило, наблюдается с южной стороны; при этом уровень мерзлоты на северной стороне даже повышается. Это происходит вследствие того, что южная сторона сооружения сильнее нагревается лучами солнца и грунт вокруг здания открыт действию солнечного тепла. С северной стороны почва затенена самим зданием, а кроме того нагрев самого сооружения солнцем здесь не столь велик.

Характерное изменение верхней границы слоя вечной мерзлоты показано на фиг. 45 по данным И. Д. Белокрылова и М. И. Сумгина. Последний отмечает, что образование под отапливаемыми жилыми зданиями чаши или корыта с талым грунтом есть общее явление для районов вечной мерзлоты к югу от 55-й параллели.



Фиг. 45. Характерное изменение верхней границы слоя вечной мерзлоты под зданием.

Вследствие образования чаши южная стена здания оседает, в ней появляются трещины; само здание наклоняется в сторону осадки.

Наиболее известным случаем деформаций являются деформации жел.-дор. мастерских. Здесь в ряде зданий наблюдались осадки размером до 10—40 *см*. В стенах появлялись многочисленные трещины и сами стены наклонялись. Особенно страдали южные стены и углы зданий. Следует отметить, что протаивание мерзлоты в основании фундаментов мастерских началось еще в тот период, когда здания не отапливались.

Многие даже отапливаемые здания подвергаются осадкам не сразу после постройки, а спустя несколько лет. Это объясняется двумя причинами: 1) прогрев почвы совершается медленно и не сразу достигает подошвы фундаментов; 2) конструкция здания способна перераспределять давление на грунт и сопротивляться усилиям, возникающим при осадках.

Так например, пассажирское здание, выстроенное из камня, на сплошных фундаментах, начало деформироваться спустя 7 лет после постройки. Это здание было устроено на песчано-галечном основании шириной 2,50 *м* и толщиной 0,85 *м*. Под всеми фундаментами была уложена железобетонная плита толщиной 0,65 *м*,

армированная рельсами. Никакие меры, препятствующие проник нию тепла в почву, приняты не были. Более того, под здание устроили выгребные ямы и подвал для хранения продуктов. Чер 7 лет в средней части южной стены появились трещины. В други стенах трещины не были обнаружены даже через 13 лет.

Паровозное здание на одной из станций в течение пяти ле после постройки не отапливалось и стояло без деформаций. Чер пять лет его начали отапливать, и через год после этого в стена появились трещины, которые привели к необходимости разобра часть стен. То же самое произошло и со зданиями на други станциях, где после введения горячей промывки паровозов и с н чалом отопления зданий стали по являться деформации.

Но и неотапливаемые камен ные здания часто деформируются примером этого служит старо неотапливаемое депо, показанно на фиг. 46; южная сторона зда ния катастрофически осела. Ха рактер разрушений и размер и хорошо видны на фотографи Причина деформаций — изменени естественного температурного ре жима почвы.

Фиг. 46. Деформация здания депо.

Интенсивность и объем прота ивания мерзлого грунта значи тельно увеличиваются если под зданием устроены выгребные ямы теплые подвалы, а также если че рез фундаменты проходят трубы водоснабжения и канализации, не говоря уже о специальных выде ляющих тепло трубопроводах.

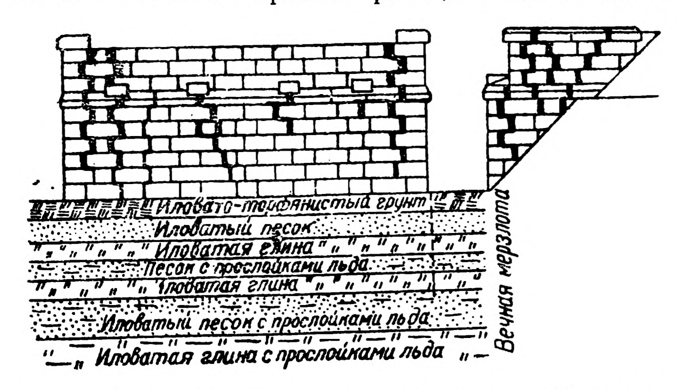
По свидетельству проф. М. И. Евдокимова-Рокотовского деформация здания небольшой электростанции произошла потому, что в этом здании был устроен небольшой колодец, в который спускали для охлаждения отрабо танную теплую воду, применявшуюся для дизелей.

Многие недоразумения возникают и вследствие того, что раз личные производственные воды не отводятся от здания, а сбрасы ваются в грунт в непосредственной близости от сооружений. Ре зультат этого был всегда один и тот же: вечная мерзлота быстр понижалась и фундаменты претерпевали катастрофические осадки Резкое изменение уровня слоя вечной мерзлоты особенно заметно в той части здания, где находятся источники тепла. Так, наприме в паровозном здании, в помещении, отведенном для котельно парового отопления, стены просели на 80 *см*. На одном рыбокон сервном заводе под помещениями с топками грунт быстро оттая полы в этом помещении осели более, чем на 50 *см*, стены сильн деформировались.

Довольно часто встречаются деформации и таких сооружений, как устои и быки мостов, вследствие осадок из-за понижения верхней границы слоя вечной мерзлоты. Особенно сильно деформируются устои и быки двупутных мостов. Здесь деформации выражаются в том, что в сооружениях появляются трещины, а иногда наклон и даже сдвиг всего сооружения в сторону. Наблюдения показывают, что наибольшие деформации имеют место с южной стороны опоры.

Протаивание мерзлоты в основании опоры приводит к появлению осадок и к наклону опоры. В кладке образуются вертикальные трещины, расширяющиеся кверху. Деформация двупутного устоя моста пролетом 17 *м* изображена на фиг. 47. С левой стороны деформации сильнее, трещины многочисленнее и крупнее. Очевидно, здесь происходит большее протаивание мерзлоты.

Вероятное изменение верхней границы слоя вечной мерзлоты

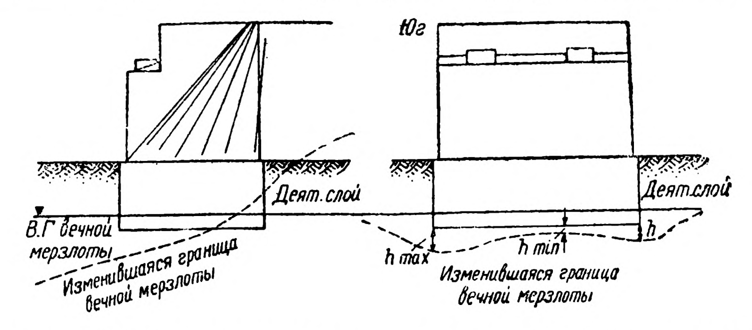


Фиг. 47. Деформация устоя вследствие протаивания мерзлоты.

оказано на фиг. 48. Спереди устоя протаивание должно быть ольше. С задней стороны верхняя граница вероятно поднимется тело насыпи. В устое не только появятся трещины, но он будет ри этих условиях способен сползти в сторону водотока и зажать фермы моста между шкафными стенками. В поперечном направлении протаивание произойдет больше с южной стороны, чем с северной, а по середине меньше. Самая высокая точка верхней границы слоя вечной мерзлоты в поперечном направлении спереди устоя очевидно окажется лежащей правее оси симметрии устоя. Таким образом, поверхность слоя мерзлоты под опорой приобретет сложный характер кривой поверхности с общим уклоном в сторону одного из углов устоя и с некоторым частным понижением к другому углу. Вследствие этого устой может наклониться в поперечном направлении и несколько осесть, отчего в кладке появятся трещины большего размера с юга и меньшего с севера.

Не менее вероятно и смещение устоя в ту или иную сторону в зависимости от того, где будет иметь место большее протаивание. Вероятие смещений всей опоры вперед и в сторону увеличивается горизонтальным давлением земли со стороны насыпи, нагрузкой

от поезда на призме обрушения и динамическим действием нагрузі от поезда. Как было указано, деформации особенно заметны у ш роких устоев для двупутных мостов. Это понятно, так как бол широкая в направлении поперек пути опора, работающая как дву

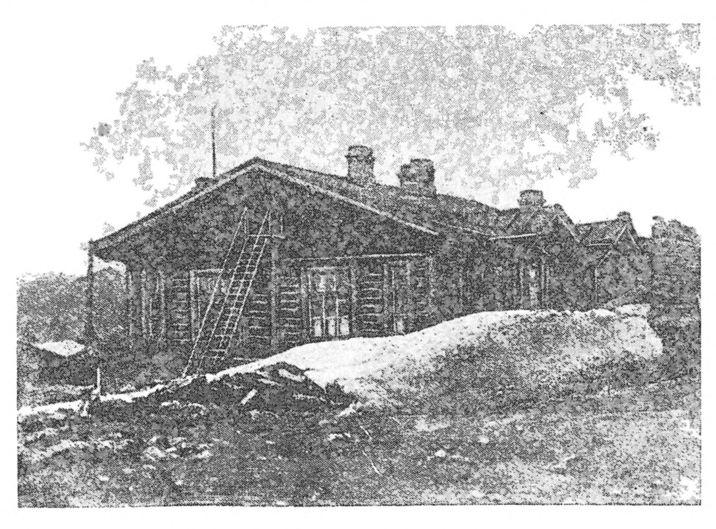


Фиг. 48. Вероятное изменение верхней границы слоя вечной мерзлоты под устоем.

консольная балка, неспособна принимать большие усилия, возні кающие в ней. Поэтому в таких условиях двупутные опоры сле довало бы заменять отдельными.

§ 7. ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ НАЛЕДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Наиболее опасными для зданий являются грунтовые наледи Появившись возле здания, наледь может образовать бугор и вы



Фиг. 49. Наледь около здания.

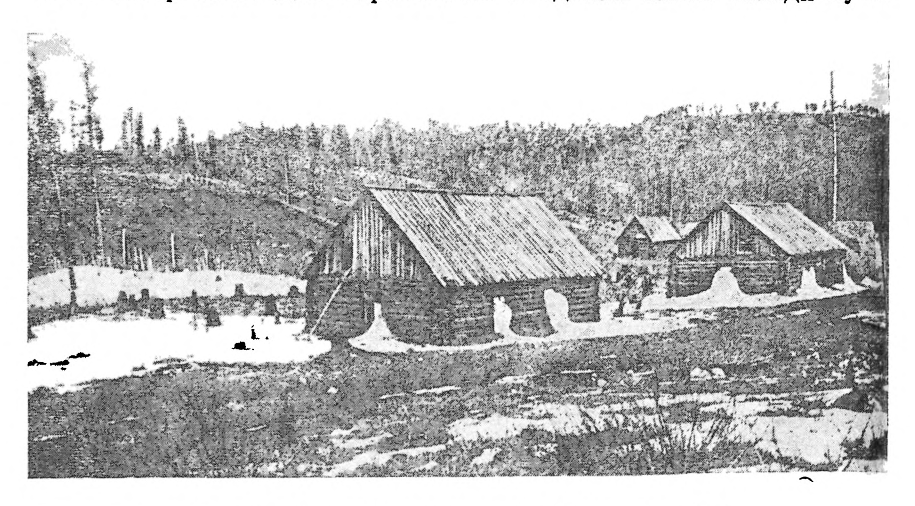
звать наклон здания, перекос его или повредить какую-либо его часть. Наледь, появившаяся около здания на одной из станций железной дороги и деформировавшая некоторые хозяйственны пристройки, показана на фиг. 49.

Образование наледных бугров на территории, занятой постройками, обусловливается значительной влажностью почвы и наличием грунтовых вод. Место образований таких наледей неопределенно и не может быть точно предсказано. Наледные бугры и значительные вздутия почвы в разные годы меняют место своего образования. Так, например, в районе Уруши, в период 1926—1930 гг., в разные годы наблюдалось образование бугров в трех различных местах, причем высота бугров за короткий срок (в 3—4 дня) доходила до 2 *м*. Один из бугров несколько деформировал здание пакгауза.

Возможность образования на данном участке наледных бугров по большей части может быть установлена тщательным исследованием местности. С другой стороны, необходимо заметить, что после возведения сооружений могут быть созданы такие условия, которые вызовут появление наледей и образование наледных бугров там, где их раньше не было. Это происходит вследствие того, что построенные здания или другие сооружения изменяют гидрологические условия местности и температурный режим почвы. Очевидно, во избежание осложнений, следует обращать особое внимание на выбор места для строительства, избегая участков с наледными процессами, а в тех случаях, когда наледи в данном месте отсутствуют, полезно принимать меры, которые помешали бы их появлению в будущем после возведения построек.

В некоторых случаях влияние наледных процессов выражается в иных формах. Поток грунтовой воды, заключенный в почве, при заморозках, промораживающих деятельный слой, оказывается зажатым между верхним замерзающим слоем грунта и нижним водонепроницаемым слоем вечной мерзлоты или другим слоем, не пропускающим воду. Находясь под некоторым давлением, образующимся вследствие этого, а также имея и без этого некоторый напор, вода устремляется в места еще оставшиеся талыми. Такими местами в районе расположения построек оказываются участки под зданиями, так как здесь почва защищена от промерзания зданиями и выделяемым ими теплом. Скопляясь под зданием, вода затем прорывается на поверхность земли в подполье; там часть ее замерзает, а другая часть выступает наружу. Так как вода находится под напором, она прорывает тонкую корку льда на поверхности земли и продолжает выступать уже в самом здании. Людям приходится бросать помещения, лед постепенно заполняет весь дом (фиг. 50), а затем выходит наружу через окна и двери. Наступление воды, быстро превращающейся в лед, настолько интенсивно, что иногда из помещений не успевают вынести часть обстановки. Заполняя дом, наледь ломает полы и потолки. Общий вид здания, заполненного льдом наледи, приведен на фиг. 51. Вода, заполнив весь сруб, потекла наружу и образовала у проемов, в стенах, так называемый ледопад, распространившийся и на почву около здания. Если разобрать сруб, то на месте дома окажется глыба льда (фиг. 52). Чаще всего такое заполнение льдом происходит в отапливаемых домах, ибо самое здание и тепло от него, проникающее в почву, создают под ним талик среди массива мерзлого грунта, чем и обеспечивается выход наледной воды на поверх-

ность земли. Но есть немало подобных случаев и при неотаплива-
емых постройках. Для образования в здании такой наледи нужн



Фиг. 50. Наледь, заполнившая деревянные дома.

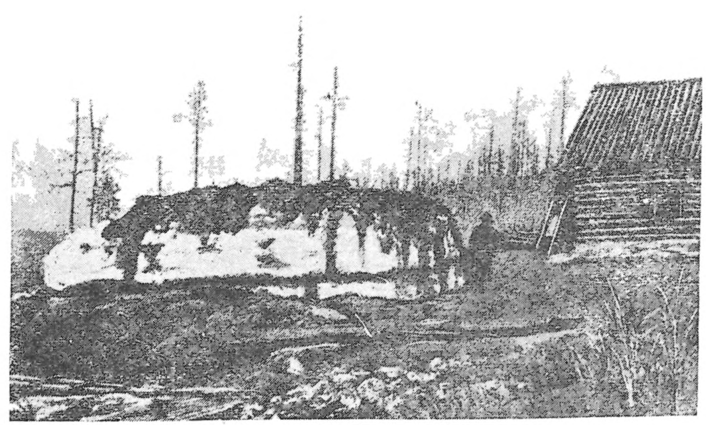
особые условия и в первую очередь наличие значительного напора грунтовой воды, так что это явление встречается не так часто. Чаще все ограничивается скоплением в подполье воды, отжимаемой из соседних слоев грунта. Описанное явление может иметь место в деревянных и в каменных зданиях.



Фиг. 51. Дом, разрушенный наледью

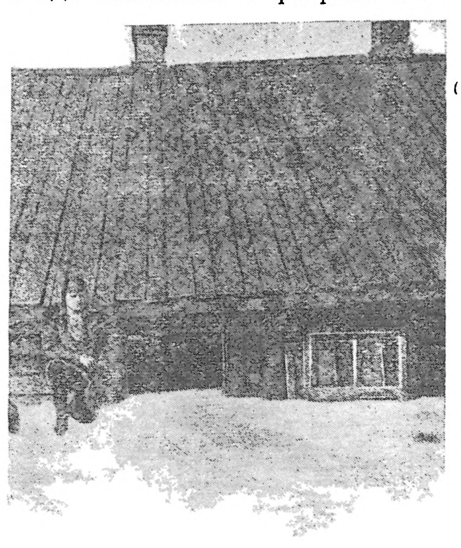
Оригинальным примером наледи, возникшей в результате постройки сооружения, может служить наледь на ст. Сковородино. Громадная наледь, описанная В. В. Еленевским, залившая и де

формировавшая ряд сооружений, образовалась на ст. Сковородино в 1934 г. вследствие фильтрации воды из пруда, сквозь плотину и



Фиг. 52. Глыба наледного льда на месте дома после разборки сруба.

по ее протаявшему основанию.[1] Наледь появилась 4 февраля и к 10 февраля образовала поле льда в несколько десятков тысяч квадратных метров, с толщиной льда более 1 *м*. Деревянный дом, почти полностью залитый этой наледью, показан на фиг. 53. Рост наледи прекратился в связи с резким потеплением.



Фиг. 53. Деревянный дом, заполненный наледью, залившей всю территорию, занятую постройками на ст. Сковородино (фото В. В. Еленевского).

Деформации наледями дорожных сооружений и особенно сооружений на обыкновенных дорогах встречаются еще чаще, чем деформации зданий. Вопросу о влиянии наледей на дорожные сооружения посвящена подробная работа В. Г. Петрова,[2] поэтому здесь приведены только самые необходимые сведения.

На существующих железных дорогах деформациям от наледей обычно подвергаются мелкие сооружения — мосты и трубы; в южных районах распространения вечной мерзлоты, где по преимуществу и имеются железные до-

[1] В. В. Еленевский и Г. А. Низовкин, Железнодорожное строительство в условиях вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1936.

[2] В. Г. Петров, Наледи на Амурско-Якутской магистрали, Академия наук СССР, 1930.

роги, наледи не имеют большого распространения. При строительстве дорог в северных районах следует ожидать многочисленных недоразумений из-за наледей, если своевременно не учесть их влияние и не принять соответствующие меры.

В южной части территории, занятой вечной мерзлотой, ключевые или речные наледи закупоривают трубы под насыпями и загромождают отверстия небольших мостов. Деформации конструкций выражаются в поломке и повреждении выступающих частей подкосов, схваток, балок и пр. Взрыв наледного бугра речной наледи способен привести к значительному разрушению конструкции моста.

Поток воды, вырвавшийся при взрыве из наледного бугра на поверхность земли, нередко несет глыбы льда в несколько десятков тонн, и без труда может снести сооружение. Взрывы наледных бугров происходят в каждом данном районе в более или менее определенное время года. На дорогах в Якутии большинство взрывов падает на конец февраля и начало марта.

На р. Онон (по данным В. Г. Петрова) при взрыве наледного бугра были выброшены и отнесены в сторону большие глыбы льда, из которых одна имела вес около 205 *т*. Небольшая глыба льда, весом в 38 *т*, из этого же бугра изображена на фиг. 6.

Что касается наледей на обыкновенных дорогах, то здесь они получили громадное развитие.

Только на одном участке протяжением 728 *км* оказалось 122 наледи, из них 44 очень большие. Из общего числа наледей 55% относятся к речным и 45% — к грунтовым, причем часто встречаются оба типа наледей одновременно.

Причиной столь значительного развития наледей непосредственно у полотна дороги послужило само полотно; его устройство повело к созданию условий, способствующих более глубокому промерзанию почвы около дороги, что и преградило потоки грунтовых вод.

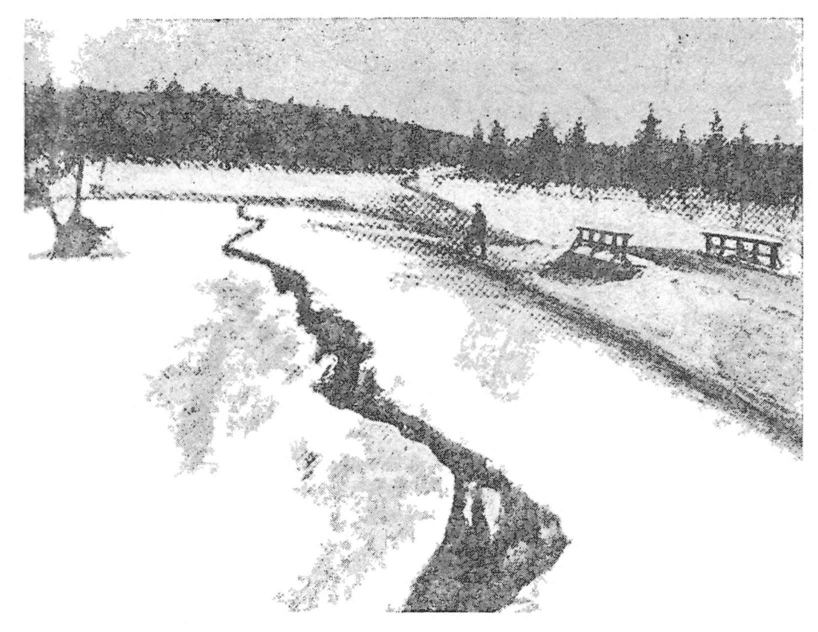
Речные наледи разрушительно действуют на мосты и часто приводят их в полную негодность. Во многих местах наледи заливают дороги, движение сильно затрудняется и становится небезопасным. Очень большие пространства разлившейся наледной воды, высокие наледные бугры, с глубокими трещинами шириной до 50 *см*, и постоянно меняющаяся (в сроки, измеряемые минутами) поверхность наледи делают проезд в таких местах рискованным даже днем. Ночью движение вовсе прекращается, так как можно провалиться в трещины, попасть при 30—40° мороза в воду, наехать на ледяной косогор и т. д. В результате приходится устраивать объезд.

Какова величина речных наледей, можно видеть из следующих двух кратких описаний наледей, наблюдавшихся В. Г. Петровым на одной обыкновенной дороге. Одна из самых больших на трассе, речная наледь занимала площадь в 36 250 $м^2$ и шла вдоль дороги на 275 *м*; толщина льда в этой наледи доходила до 2 *м*. Бугров было шесть, самый большой из них имел высоту до 4 *м* и диаметр около 65 *м*. Глубина залегания слоя вечной мерзлоты здесь в речных почвах 60 *см*, в бортах долины — до 150 *см*.

Другая речная наледь занимала 36 875 $м^2$ при толщине льда от

1 до 2 *м* и протяжении вдоль дороги в 255 *м*. Бугров два; больший имел высоту 4 *м*, ширину 30 *м* и длину 60 *м*. Мерзлота в почве залегает на глубине 80 *см*.

Наледь, образовавшаяся около дороги у моста, показана на фиг. 54. Наледь возникла в долине небольшого ключа и, дойдя до полотна дороги, расположилась вдоль нее на протяжении 216 *м*, с бугром около самого моста. Вершина бугра имела продольную трещину. Площадь наледи 12 800 $м^2$. Толщина льда 0,5—1,0 *м*. Длина кургана 115 *м*, ширина 65 *м* и высота 4 *м*. Мост деформирован, прогоны и поперечины сдвинуты и частично сломаны.



Фиг. 54. Наледь, заливающая мост на обыкновенной дороге.

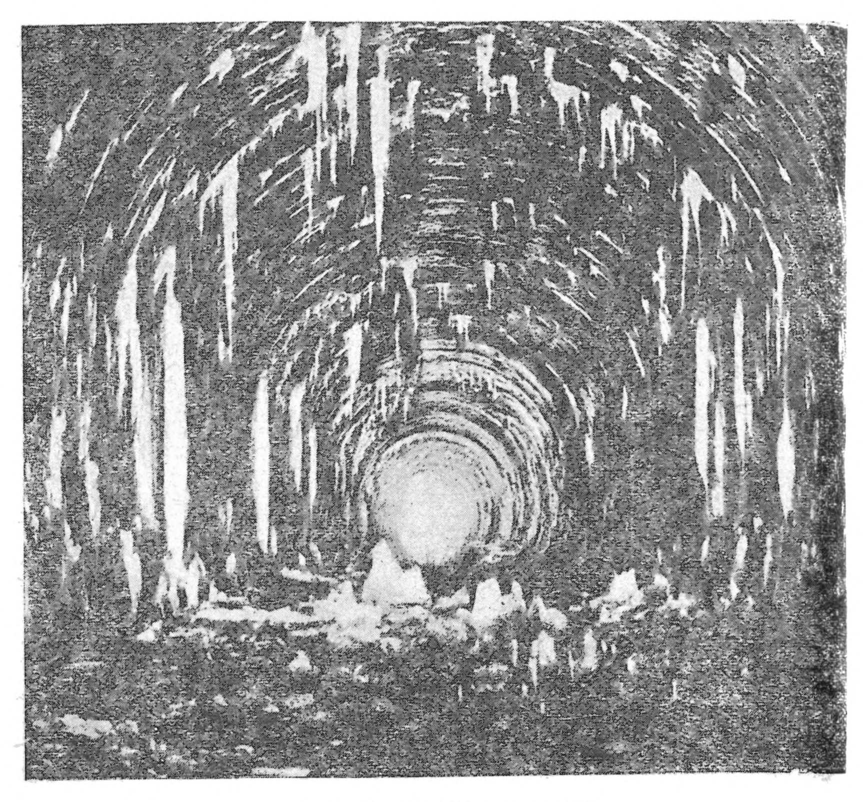
В некоторых местах на этой дороге наблюдалось как бы затопление мостов наледным льдом, полностью скрывшим сооружение. В других случаях ряжевые опоры мостов оказывались поднятыми наледным льдом на высоту 50—60 *см*, а пролетное строение — сдвинутым и деформированным. При взрывах наледных бугров может произойти полное уничтожение моста, причем ряжи сдвигаются с места и разламываются, а сваи срезаются на уровне земли.

Борьба с наледями затруднительна, так как образование многих речных и ключевых наледей продолжается всю зиму, не прекращаясь ни на один день. Лед, сегодня удаленный околкой, завтра нарастает снова. Поэтому следует рекомендовать при изысканиях избегать мест, где наледи имеют некоторое развитие.

Надо оговориться, что после постройки дороги или других сооружений наледи могут появиться в том месте, где их раньше не было. Так, например, произошло на Амурско-Якутской дороге, где, по мнению В. Г. Петрова, 80% наледей вызвано проведением дороги.

Постройка земляных сооружений, мостов и труб легко может с[о]здать условия, благоприятные для образования наледей, вызв[а]промерзание подземных потоков воды или изменив их направлен[и]

Особого внимания заслуживают различные подземные сооруж[е]ния, например туннели и т. д., подвергающиеся обледенению внут[р]вследствие проникания воды под давлением в швы и щели клад[к]обделки. Вид обледеневшего в начале зимы туннеля показан [н]фиг. 55. При разработке туннеля воды почти не было, но осен[ь]



Фиг. 55. Наледь в туннеле.

при замерзании грунта она оказалась под напором, стала прос[а]ваться в кладку и, замерзая, образовывала своего рода сталакт[и]и сталагмиты. Кладка частично подвергалась разрушению.

Надежная изоляция обделки и устройство соответствующ[е]дренажа вдоль туннеля за стенками могли бы предохранить соо[ру]жение. В некоторых случаях на многих дорогах наледи прив[е]к тому, что в порталах пришлось устроить ворота и зимой отап[ли]вать туннели. Это дало возможность отводить воду внутри вд[оль]туннеля при помощи лотков. Для того же чтобы при отводе во[ды]не вызвать наледи у портала, где лотки выходят наружу, прихо[ди]лось либо отеплять лотки, либо же откачивать воду насосами и [со]бирать ее в особые колодцы, а иногда даже подогревать воду.

§ 8. ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1. Общие соображения

Основными типами земляных сооружений являются различные насыпи и выемки, предназначенные как для дорожных, так и для разнообразных специальных сооружений. Деформации насыпей выражаются, главным образом, в больших осадках, а также в сплывах и оползаниях части грунта, образующего насыпь; в небольших насыпях встречаются пучины. Кроме этого, насыпи деформируются наледями.

В выемках возникают провалы, просадки и разжижение дна, нередко происходят оползания и сплывы откосов. Наледи часто нарушают также нормальное состояние выемок. Но особое развитие и, следовательно, наибольшее значение для дорог имеют пучины.

Приведенные виды деформаций происходят, по преимуществу, вследствие нарушения строительством естественного температурного режима грунта и связаны с влажностью и качеством грунтов, слагающих самое земляное сооружение или служащих основанием для него.

2. Деформации насыпей

Одной из главнейших причин осадок насыпей, отсыпанных над слоем вечной мерзлоты, служит оттаивание этого слоя, т. е. понижение верхнего горизонта слоя вечной мерзлоты под насыпью и в непосредственной от нее близости. На первый взгляд кажется, что если в данном месте вечная мерзлота залегает на некоторой глубине, то отсыпка на поверхности земли нового слоя грунта не только создает условия, предохраняющие слой вечной мерзлоты от оттаивания, но и способствует подъему верхней границы слоя вечной мерзлоты.

На самом же деле это далеко не всегда так.

При отсыпке насыпей нередко происходит понижение верхней границы слоя вечной мерзлоты. Дело в том, что насыпи отсыпаются по большей части летом или, что еще хуже, осенью, на талой почве, прогретой атмосферным и солнечным теплом. Во время работы материал насыпи, укладываемый сравнительно тонкими слоями, имеющий и без того относительно высокую температуру, еще больше нагревается солнцем. В результате этого температура насыпи оказывается гораздо выше температуры естественной почвы. Такая нагретая масса грунта не только защищает находящуюся под нею естественную почву от ночного остывания, происходящего в силу большой разницы температуры дня и ночи в большинстве районов вечной мерзлоты, но продолжает и ночью отдавать свое тепло основанию насыпи. Насыпи высотой более 5 *м* в первый год обычно не промерзают и в них сохраняется талое ядро, имеющее сравнительно высокую температуру.

Можно указать, например, что, по сведениям О. И. Финка, в теле насыпи для плотины на одной станции, в первый год, до пуска воды в водоем, в январе и феврале температура грунта была +10° С. Сверху насыпь промерзла на глубину до 4 *м*, в откосах

до 3—3,5 *м*. К весне температура понизилась до +5°, но в нача; июня температура нижних слоев насыпи была все еще выше темпе ратуры верхних слоев.

Очевидно, что тепло, аккумулированное в теле высокой насыпи в первые годы ее существования создает возможность протаивани вечномерзлого грунта и осадки почвы под давлением веса насып В дальнейшем, после деформации насыпи и после остывания теп лого ядра, нисколько не исключена возможность восстановлени прежней верхней границы вечной мерзлоты и даже подъема ее в тело насыпи.

Как уже неоднократно отмечалось, нередко оттаявшая мерзлот неспособна нести никакой нагрузки, и поэтому возможность осадк насыпи вполне реальна. Величина осадки насыпи слагается вообщ из трех составляющих: 1) из обычной осадки тела самой насып 2) из уменьшения объема воды при переходе ее из твердой фаз в жидкую; 3) из уменьшения объема протаявшего слоя вследстви уплотнения грунта весом вышележащих слоев, сопровождаемог отжатием воды из грунта.

Обычная осадка тела насыпи, отсыпанного из разрыхленног грунта, невелика, более или менее равномерна и учитывается со ответствующим увеличением отсыпаемого объема. Уменьшени объема воды при переходе ее из твердой фазы в жидкую имее довольно большое значение, ибо грунты слоя вечной мерзлот переувлажнены и содержат воды от 25 до 50% по весу (в средне от 30 до 40%). Таким образом содержание воды достигает в сред нем 400—500 *л*/*м*³ грунта, вследствие чего уменьшение объем грунта при превращении льда в воду должно составлять окол 4—5% высоты оттаявшего грунта.

Уменьшение объема грунта из-за уплотнения оттаявшего слоя отжатия воды из него может составить по данным О. И. Финка д 27% от высоты оттаявшего слоя, а в среднем до 12—15%.

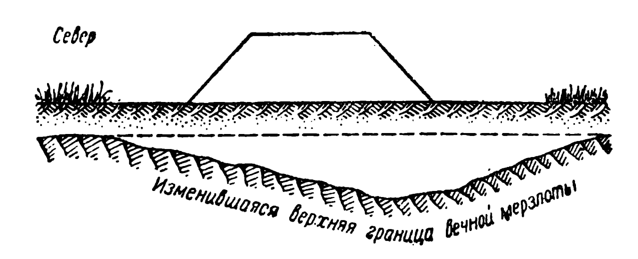
Очевидно полная осадка может оказаться равной 30—32% о высоты оттаявшего слоя, т. е. при оттаивании даже 1—2 *м* сло мерзлоты осадка может быть равна 30—60 *см*. Такая осадка, к том же еще неравномерная, нарушает равновесие тела насыпи. Неравно мерность осадки объясняется неравномерным оттаиванием мер лоты, а также неоднородностью грунта по составу, качеству влажности. Часто южная сторона насыпи оседает больше, так ка протаивание мерзлоты с юга сильнее.

Вероятное изменение верхней границы слоя вечной мерзлот под высокой насыпью показано на фиг. 56. То обстоятельство, чт поверхность вечной мерзлоты получает уклон, представляется небе опасным для сооружения, ибо вследствие этого, в дополнение осадке, может произойти сползание насыпи по наклонной мокро и скользкой поверхности мерзлого грунта.

Другой причиной больших осадок насыпей, сопровождаемы сплывами и оползаниями, является протаивание слоя погребенно льда, оказавшегося в грунте под насыпью. Это явление особен вероятно под небольшими насыпями высотой до 2 *м*, но оно може происходить и при высоких насыпях. Причиной протаивания большей части служит нарушение естественного режима местност

Часто съемка поверхностного мохового покрова почвы, выборка торфа, закладка резервов и отрывка кюветов приводят к таянию линзы льда в месте, где произведены работы; затем таяние распространяется далее, ибо вода из протаявшего грунта и растаявшей линзы льда своим теплом нарушает существование других линз и других частей слоя льда, вскрытого в одном месте.

Насыпь над ледяной линзой, лежащей в грунте достаточно глубоко, не будет деформироваться только в том случае, если отсыпка ее сделана таким образом, что в теле насыпи не аккумулируется большой запас тепла, если вблизи линзы или пласта льда не уничтожен поверхностный покров почвы и не заложены резервы, а необходимые для отвода воды канавы расположены на расстоянии не менее 20 *м* от подошвы насыпи. При этом во избежание застоя воды естественная поверхность местности спланирована соответствующим образом с устройством присыпных берм. На фиг. 42 видно насколько значительной может быть осадка.



Фиг. 56. Вероятное изменение верхней границы слоя вечной мерзлоты под высокой насыпью.

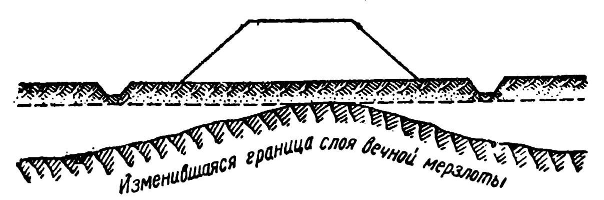
На одном предназначенном под насыпь участке при постройке дороги, по данным инженера С. В. Кованько, возле места, предназначенного для искусственного сооружения, благодаря тому, что была прокопана нагорная канава и сделан выпуск воды в низовую сторону из углубления, получившегося от срезки мха, весной после дождя образовался размыв глубиной до 2 *м* и шириной от 5 до 10 *м*.

Осмотр показал, что здесь под слоем торфа на глубине около 1 *м* расположен мерзлый плывун с глыбами чистого льда. Несмотря на то, что вся промоина была заложена торфом и устроены особые глиняные плотины, летом произошел новый провал гораздо больших размеров.

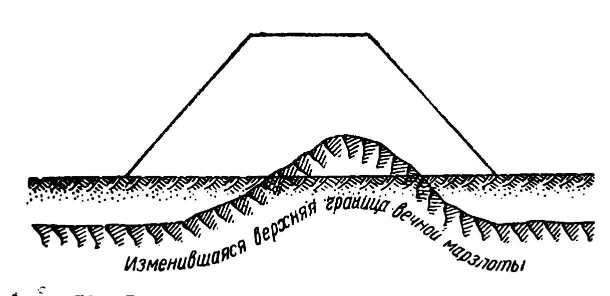
Насколько часто в строительстве земляных сооружений приходится встречаться с погребенными льдами, свидетельствует следующий факт. По данным инж. Е. И. Суходольского, на обследованном участке дороги длиной в 45 *км* лед был обнаружен в 28 выработках, из общего числа 270 выработок. Е. И. Суходольский считает, что поскольку основная масса выработок сосредоточилась, главным образом, у выемок, станционных площадок и на мостовых переходах, а не была распределена равномерно по длине линии, можно считать, что во многих пунктах наличие погребенного льда осталось невыявленным.

В отдельных случаях происходят сплывы и оползни насыпей вследствие того, что вечная мерзлота под насыпью оказывается меньше протаявшей, чем с боков (фиг. 57). Причиной такого протаивания мерзлоты является уничтожение с обеих сторон насыпи поверхностного покрова почвы и устройство резервов и канав, что способствует гораздо более быстрому и глубокому протаиванию мерзлоты вне насыпи, чем под насыпью, особенно если последняя возведена весной.

Во время постройки западной части Амурской дороги, при большой льдонасыщенности грунтов, наблюдалась осадка небольших насыпей по указанной причине до 75 *см*.



Фиг. 57. Схематическое положение верхней границы слоя вечной мерзлоты под насыпью.



Фиг. 58. Вероятное поднятие вечной мерзлоты в тело насыпи.

Работы инж. В. В. Еленевского на дорогах Дальнего Востока доказывают, что в определенных случаях, при достаточно больших насыпях, верхняя граница слоя вечной мерзлоты может подняться настолько, что она войдет в тело насыпи. В известной мере это подтверждается и измерениями т. Афанасьева. Возможность образования сезонной мерзлоты в теле насыпи установлена на примере Тургутуйской насыпи. Поднятие вечной мерзлоты в тело насыпи должно происходить так, как это изображено на фиг. 58 (в виде горба).

Образование в теле насыпи мерзлого бугра возможно при насыпях высотой более 2,5—3,0 *м* в случаях, если они возведены из плохо дренирующих грунтов. Необходимо отметить, что повышение уровня мерзлоты может произойти не сразу после постройки, а через несколько лет. Бугор мерзлого грунта обычно несколько смещен в северную сторону, так как южная часть насыпи будет прогреваться солнцем больше северной.

Наклонные поверхности мерзлого бугра в теле насыпи, при переувлажнении слоев грунта на границе мерзлоты, способны повести к сползанию верхней талой части насыпи.

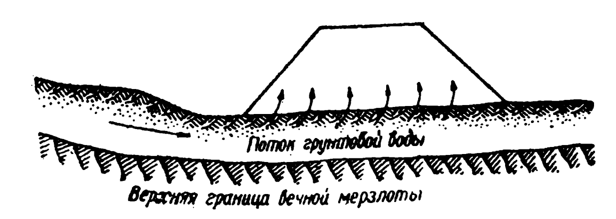
Для железнодорожных насыпей опасность оползней возникает при высоте их от 5,0 *м* и более. При меньших высотах насыпей бугор мерзлоты едва ли поднимется более чем на 1—2 *м*, поэтому достаточно сопротивления грунта берм и талой части откоса, чтобы предотвратить деформацию; по этой причине небольшие насыпи

деформируются редко и лишь при условиях, характеризующих деформацию по фиг. 57.

В насыпях, отсыпанных полностью из хорошо дренирующих грунтов или имеющих в нижней части прослоек из этих грунтов, даже при высоком подъеме мерзлоты влажность грунта невелика, подток воды снизу не наблюдается и деформации мало вероятны.

По данным Г. А. Низовкина массив мерзлого грунта образовался над каменной трубой и вокруг нее в высокой 32-*м* насыпи. Такое же образование массива мерзлого грунта над каменной трубой установлено им же в насыпи Томской дороги; это, конечно, тоже может привести к указанным деформациям насыпей.

Часто деформации насыпей происходят вследствие замокания низа насыпей (фиг. 59), возведенных на марях или вообще в месте, где замокание возможно. Вследствие капиллярности грунтов вода поднимается в нижнюю часть тела насыпи и последняя, замокнув, не выдерживает веса верхней части и расползается. Иногда, в этих условиях, осенью при замерзании деятельного слоя вода устремляется под насыпь, где почва еще не замерзла, и, пропитывая низ насыпи, вытекает на откосы, образуя небольшие наледи. Сами по себе такие наледи не страшны, но весной переувлажнение низа насыпи может повести к деформациям ее. В том случае, когда низ насыпи отсыпан из хорошо дренирующих грунтов, деформации последнего типа не наблюдаются.



Фиг. 59. Схема деформации насыпи.

Особым видом небольших, но очень досадных и вредных деформаций является пучение. Пучение проявляется по преимуществу в небольших насыпях из землистых грунтов высотой менее 2,0 *м* и достигает особой силы на марях и в тундровых районах, препятствуя нормальной работе дороги.

Помимо общеизвестных причин образования пучин инж. Е. И. Суходольский, наблюдая над невысокими насыпями дороги, установил, что при ежегодном промерзании насыпей из землистых грунтов, внутри тела насыпей происходит сезонная миграция воды, которая стремится двигаться в сторону притока холода и скопляется обычно ближе к подбалластной части насыпи, причем дальнейшее промерзание тела насыпи вызывает значительные деформации его вследствие пучения.

Низкие насыпи в местах, где могут образовываться наледи, заливаются замерзающей наледной водой. Лед, образующийся на полотне дороги, очень трудно удалять, так как скалывание редко поспевает за нарастанием новых слоев наледного льда. На обыкновенных дорогах наледи делают дорогу непроезжей зимой и приходится прокладывать объезд по целине; на железных дорогах для

поддержания проезда надо вести с наледью тяжелую и упорную борьбу, ежедневно скалывая лед.

Грунтовая наледь в Якутии, залившая дорогу, показана на фиг. 60. Соотношение между высотой телеграфного столба и ростом стоящего возле него человека показывает, что столб покрыт льдом почти на половину своей высоты, т. е. на 3—4 *м*. Вдоль дороги наледь тянется на 390 *м*; лошадь с повозкой преодолевает это расстояние в течение часа. [1]

Надо заметить, что наиболее редко наблюдаются деформации насыпей из хорошо дренирующих грунтов. Насыпи же из пылеватых грунтов деформируются часто и сильно. Большое значение



Фиг. 60. Наледь на полотне обыкновенной дороги.

для устойчивости насыпей имеет не только материал самих насыпей, но и характер грунтов и особенно влажность основания насыпи, т. е. части почвы, над которой возводится насыпь. Наиболее сильно деформируемые земляные сооружения встречаются на марях, где грунты крайне влажны.

Из сказанного видна зависимость деформаций насыпей от их высоты и от грунта.

Насыпи высотой более 5 *м* в большей степени подвержены деформациям, чем насыпи высотой от 2 до 5 *м*. Насыпи из скальных и каменистых грунтов, вследствие их дренирующей способности, не пропитываются водой, не пучатся, не расползаются и при осадках не дезинтегрируются.

Особого внимания заслуживают земляные плотины, возводимые в районах, занятых вечной мерзлотой. Опыт постройки таких плотин для водоснабжения и других целей в этих условиях выявил

---

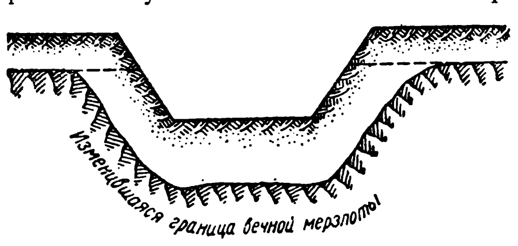
[1] В. Г. Петров, Наледи на Амурско-Якутской магистрали, 1930.

следующие моменты: 1) возведение этих плотин сопряжено с весьма большими трудностями, связанными с режимом рек; 2) в условиях вечной мерзлоты чрезвычайно трудно обеспечить водонепроницаемость и прочность основания для плотины; 3) большой пруд, как искусственный источник водоснабжения, недостаточно надежен при эксплоатации, так как собранная в большом количестве вода, обладающая вследствие исключительно большой ее теплоемкости громадным запасом тепла даже при сравнительно низкой температуре, а также земляное тело плотины, аккумулировавшее при постройке много тепла, вызывают глубокое протаивание окружающей мерзлоты и оттаивание основания под плотиной, а это ведет к деформации и к разрушению самой плотины. Сделать основание водонепроницаемым, даже при коренных породах, посредством нагнетания в трещины цементного раствора, не представляется возможным вследствие низкой температуры грунта, не обеспечивающей схватывание и твердение раствора.

Под водоемом железнодорожной станции верхняя граница слоя вечной мерзлоты в течение двух лет понизилась на 3,0 *м* и донная фильтрация приняла столь большие размеры, что угрожала потерей в течение зимы всей собранной воды; только экстренные меры предотвратили катастрофу.

В другом районе сильное понижение уровня мерзлоты было установлено уже через 6 месяцев после постройки плотины. Сильная фильтрация по протаявшему слою возникла несмотря на устройство зуба из пылевато-глинистого грунта.

3. Деформации выемок



Фиг. 61. Схематическое положение верхней границы слоя вечной мерзлоты в выемке, прорезавшей этот слой.

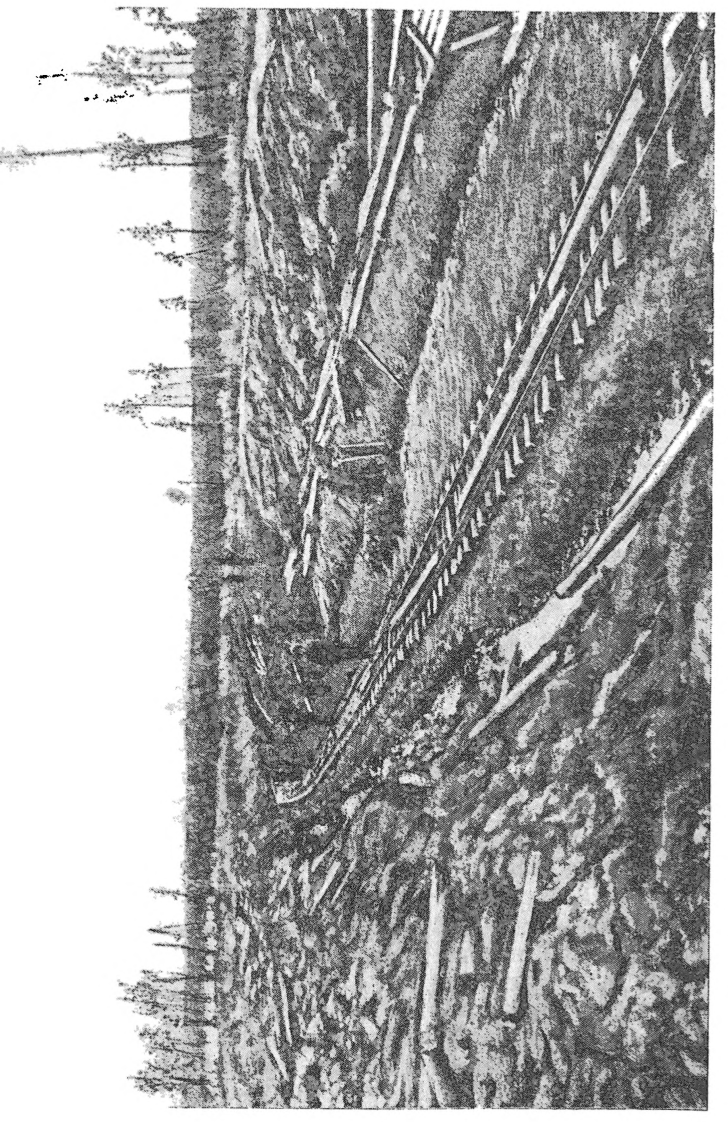
Деформации выемок заключаются главным образом в сплывах и оползаниях откосов. Эти деформации нередко продолжаются многие годы. Обычно наиболее значительно деформируются такие выемки, которые врезаются в слой вечной мерзлоты (фиг. 61). В этом случае верхняя граница вечной мерзлоты отступает вглубь, занимая примерно положение, показанное на приведенном чертеже. Даже если грунты вечной мерзлоты не пылеватые и не илистые, они обычно переувлажнены, угол естественного откоса их часто очень мал и, располагаясь в откосе выемки на наклонной, сильно увлажненной поверхности слоя мерзлоты, они имеют тенденцию к сползанию на дно выемки. Если выемка прорезает илистые и пылеватые грунты, сплывы увеличиваются в размерах, так как дно выемки тоже протаивает, разжижается и совершенно теряет способность служить упором для откосов.

Выемка с оползающими откосами после вскрытия слоя вечной мерзлоты показана на фиг. 62.

Классическим примером оползней откосов выемки считается одна выемка, в которой деформации продолжались 45 лет

и были остановлены только в последнее время применением ц
ковых подушек в результате работ инж. В. В. Еленевского.

Приводимое ниже описание деформаций этой выемки и со
ствовавших им обстоятельств было составлено Е. В. Пуст
ловым.



Фиг. 62. Грязная выемка железной дороги во время постройки.

Указанная выемка проходит в щебенистых супесях и сугл
ках делювиально-элювиального происхождения. При устройс
выемки оказалось, что она прорезает мерзлый грунт, который п
оттаивании приходит в совершенно разжиженное состояние. Пос
того как вечная мерзлота растаяла, дно выемки превратилось

трясину, в которой тонули не только шпалы и рельсы, но и паровозы.

С началом движения в выемке (1900 г.) обнаружились большие затруднения в эксплоатации ее. В начале лета каждый год происходили сплывы обоих откосов выемки. Первые годы нечетный (обращенный на юг) откос беспокоил больше четного. Затем сплывы его стали уменьшаться и с 1933 г. прекратились. На откосе четной стороны сплывы продолжали происходить до 1939 г.

О том, каких размеров достигали спустя много лет после начала эксплоатации сплывы откосов выемки, можно судить по тому, что за период 1922—1932 гг. из выемки вывезено сплывшего с откосов 22 850 $м^3$ грунта, а летом 1938 г. с откосов четной стороны сплыло 5500—6000 $м^3$ грунта.

Для ликвидации сплывов применяли самые разнообразные мероприятия. Для того чтобы прекратить погружение путей в разжиженный грунт дна выемки, пути укладывались на шпальных клетках. Откосы выемки каждое лето срезались и делались более пологими, в них закладывали глубокие каменные дренажи. Вдоль обочин земляного полотна устраивали глубокие каменные и железобетонные лотки.

Все эти дорогостоящие мероприятия по укреплению откосов выемки не приносили ощутимой пользы. Каменные дренажи сползали вместе с откосами; сейчас от них остались лишь глубокие промоины в откосах. Каменные лотки раздавливались и деформировались.

Несмотря ни на что, сплывы продолжались из года в год и нередко вызывали перерывы в движении поездов.

Сплывы происходили обычно в конце мая — начале июня, когда оттаивание достигало 0,9—1,2 *м*. В это же время начинались первые весенние дожди, которые способствовали сплывам. Насколько трудно и дорого бороться при плохих грунтах с такими деформациями свидетельствует то обстоятельство, что для оздоровления выемки предполагалось затратить более 1 200 000 руб.

Часто при илистых и пылеватых грунтах откосы выемок продолжают сплывать и при крутизне откосов 1 : 3 и даже 1 : 4. Наличие погребенного льда на некоторой небольшой глубине от поверхности дна и в откосах также приводит к сплывам, к провалам и затем к оползням и вызывает разжижение дна выемки.

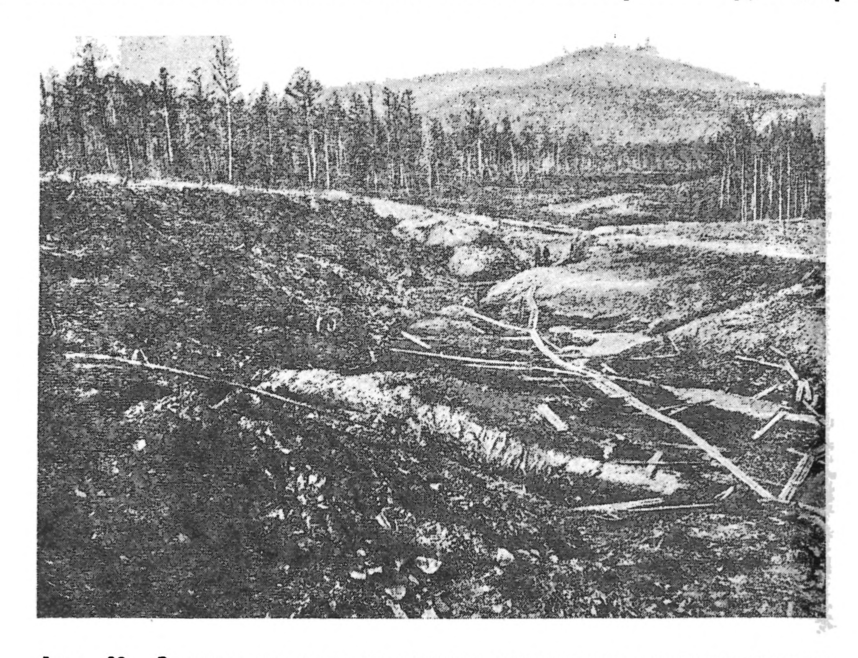
Заплывание выемки на трассе одной железной дороги грунтом при таянии погребенного льда изображено на фиг. 63. Здесь под слоем грунта в 2 *м* залегал лед, который после разработки грунта начал таять и откосы сильно сползли; в самой выемке скопилась вода. Грунт выемки пылеватый переувлажненный.

При постройке головного участка этой дороги была сделана выемка в грунте, содержавшем много ледяных включений; в результате дно выемки совершенно разжижилось, откосы стали ползти. По данным инж. С. В. కованько, несмотря на то, что для устройства пути на этом участке было уложено и утоплено 7 рядов шпал, поезд не мог пройти, так как под паровозом образовывался провал, а перед ним шел бугор жидкого грунта, поднимавший путь; паровоз, двигаясь в гору, подминал под себя путь.

Никакие водоотводные и дренажные устройства не помогали. Пр
шлось переложить путь в сторону; для этого воспользовались н
зовым кавальером выемки. Путь получился хорошим и был т
оставлен, а грязная, заплывшая выемка брошена. Сейчас она игра
роль большой нагорной канавы.

Большие провалы дна выемок наблюдались возле р. Тынды.

Из сказанного видно, что деформации выемок определяют в основном сильной влажностью слоев вечномерзлого грунта, пр



Фиг. 63. Заплывание выемки грунтом вследствие протаивания линз погребенных льдов (фото В. В. Еленевского).

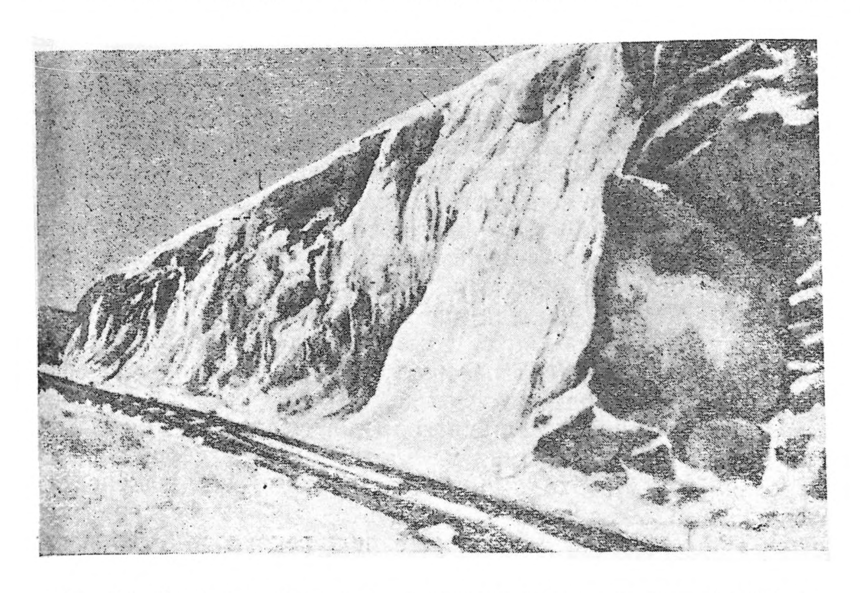
резаемых выемками, наличием больших включений льда и илисты и пылеватым составом грунта, отчего оттаявшая вечная мерзлот превращается в плывун. Последний по большей части неспособе нести нагрузку, в нем вязнут люди и повозки; кроме того тако грунт имеет очень малый угол естественного откоса.

Иногда при глинистых или суглинистых мерзлых грунтах, по динамическим воздействием движения людей и повозок, переме щающихся по его поверхности, он, оттаивая, приходит в пластич ное состояние и становится весьма вязким и липким. Перемещатьс по такому грунту уже нельзя, ибо при движении колеблется вс дно выемки.

Что касается пучин в выемках, то очевидно, что при таки условиях они могут получать широкое распространение. Упомян тые грунты сильно пучинистые и к тому же переувлажненны Пучины в выемках достигают больших размеров и борьба с ним трудна, хотя вообще возможна. Во многих случаях, во избежани образования пучин, грунт со дна выемки выбирался на 2—3 м

[м]енялся хорошо дренирующим, с устройством глубокого дре[на]жа. К сожалению, глубокие дренажи, чаще всего в виде дере[вя]нных лотков, сами сильно деформировались и не всегда хорошо [ра]ботали, так что дно выемки продолжало иметь пучины.

Наледи в выемках встречаются часто и вызывают много ослож[нен]ий. Наледи образуют ледопады, которые стремятся заполнить



Фиг. 64. Ледопад или наледь на откосах выемки железной дороги.

[в]ыемку. Борьба с наледями затруднительна, тем более, что появле[ни]е их не всегда может быть предусмотрено заранее. Вид наледи [в в]ыемке железной дороги показан на фиг. 64.

Глава III

ИЗЫСКАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

§ 9. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ЗНАЧЕНИИ, ХАРАКТЕРЕ, ОБЪЕМЕ И ВРЕМЕНИ ИЗЫСКАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

Изложенное ранее показывает, что лучшим способом предохра[не]ния всякого сооружения от деформаций, возникающих вследствие [осо]бых условий, свойственных районам, занятым вечной мерзлотой, [явл]яется тщательный учет всех этих условий и возведение [соо]ружения в таком месте и таким способом, чтобы особенности [это]й своеобразной области могли проявиться наименее резко.

Вследствие этого на первое место среди прочих мероприят могущих обеспечить устойчивость сооружений в условиях веч мерзлоты, выдвигается необходимость производства тщатель и подробных исследований и изысканий для данного строительн объекта.

Знание местных условий и правильный учет их при проекти вании и строительстве, основанные на хорошо выполненных и: сканиях и исследованиях, представляются наилучшей гарантией хранности сооружений.

Основная задача обычных изысканий и исследований — вы(в данных реальных топографических и геологических условиях т нически и экономически наивыгоднейшего расположения соору ния — в районах вечной мерзлоты осложняется настоятельной обходимостью учета мерзлотных условий, являющихся во мног случаях, при известном сочетании грунтовых и гидрогеологичес условий, решающими для обеспечения устойчивости сооружений, также для стоимости производства работ и для будущих экспл атационных расходов. Вследствие этого в районах вечной мерзло все виды и стадии обычных изысканий должны быть комплек ными, т. е. обычные топографические и инженерно-геологичес работы при всех видах исследований и изысканий, особенно д дорог, должны сопровождаться гидрологическими, гидрогеологич скими, почвенно-грунтовыми, мерзлотными и метеорологически обследованиями. Необходимо, чтобы принцип комплексности бы проведен через все стадии изысканий, а наибольшее свое развит получил еще в первой стадии, т. е. при рекогносцировочных изы сканиях.

Для области вечной мерзлоты чрезвычайно важна именно так постановка изысканий. Некоторые изыскатели и строители приде живаются неправильного взгляда, заключающегося в том, что ко плексность изысканий, т. е. дополнение технических изыскан геологическими, гидрологическими и мерзлотными, должна нар стать постепенно и что наиболее подробные комплексные изыск ния должны сопровождать только окончательные техничес изыскания, ибо решающую роль, как уже было отмечено, час играют мерзлотные условия.

Мерзлотная характеристика местности должна быть установле в первую очередь, ибо иначе в дальнейшем, даже при изыскани неизбежны большие излишние расходы.

Все изыскания следует проводить в два приема: основные р боты летом, а дополнительные, специальные, — зимой.

Летние изыскания лучше всего проводить в период август- октябрь, зимние — в конце зимы. Производство основных изыск ний зимой из-за больших морозов, глубокого промерзания почв снега и выпучивания почвы всегда приводило и приводит к кру ным недоразумениям, не говоря о том, что зимой просто не удает выяснить многие важные моменты.

Некоторые считают, что изыскания нужно производить по пр имуществу зимой, так как тогда отпадают трудности, связанны с доставкой в летнее время при отсутствии дорог изыскательско оборудования, продовольствия и фуража, и так как зимой люди

шади не страдают от оводов, комаров и мошек. Но этот взгляд правилен: трудности нужно преодолеть, но без летних изысканий обойтись, ибо есть важные вопросы, которые можно разрешить лько летом; к таким относится, например, определение характера режима разных водотоков, характера поверхностного покрова чвы, характера грунтов, степени топкости заболоченных мест т. п.

Но, конечно, в районе вечной мерзлоты нельзя ограничиться ними летними изысканиями; часть изыскательских работ необхомо обязательно произвести зимой.

§ 10. ИЗЫСКАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И КОММУНАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

1. Общие указания

Конечная цель всяких изысканий и исследований для строительтва заключается в выборе такой площадки, которая имела бы илучшие мерзлотные условия и в то же время наиболее удовлеворяла экономическим и техническим требованиям, предъявляемым данному сооружению.

Совершенно очевидно, что пригодность выбираемого участка, кономические соображения и техническая целесообразность должны быть согласованы в необходимой мере после тщательной щенки всех этих обстоятельств. При этом следует, конечно, учиывать размеры сооружения, его назначение, особенности и срок лужбы.

Исходя из конечных целей изысканий и исследований, объем х в основном должен состоять: 1) из общих исследований местости для выбора вариантов строительной площадки для данного троительства; 2) из общих подробных исследований выбранных ариантов площадки и 3) из исследования определенных участов выбранной оптимальной площадки, предназначаемых под отельные важные и крупные сооружения.

Первые два этапа необходимы для составления проектного задания и для технического проекта, последний — для рабочих чертежей. Подробность исследований должна соответствовать стадиям оектирования. [1]

Все исследования необходимо производить, имея предварительй эскизный проект сооружения, проработанный совместно технологами и строителями, для того чтобы при рассмотрении местных ловий можно было иметь представление о размерах и устройстве дущего строительного объекта. В крайнем случае, при отсутствии кого проекта можно руководствоваться проектами, аналогичными нному.

Приведенное выше разделение изысканий и исследований на три тапа не случайно и имеет серьезные основания, так же как и притая последовательность их.

Первый этап — общее исследование местности для выбора ва-

[1] Об улучшении проектного и сметного дела и об упорядочении финансиования строительства. Постановление Совнаркома СССР от 26 февраля 1938 г.

риантов строительной площадки — представляет собой как бы г варительные или рекогносцировочные исследования, которые и своим назначением выбор в данной местности на пространст несколько десятков квадратных километров в границах, прие мых для передвижки данного строительного объекта, нескол (двух-трех) наилучших участков.

Второй этап — общие подробные исследования выбранных риантов площадки — должен дать возможность сравнить предв тельно взятые при первых исследованиях варианты строител площадок, выбрать оптимальный и затем подробно и всестор осветить выбранный вариант.

Оптимальность выбираемой площадки устанавливается на ос комплексного и тщательного анализа полученных сведений и о ных соображений экономического и технического характера.

Очевидно, что второй этап должен включать: а) предварит ные исследования двух-трех вариантов и б) окончательные ис дования одной наилучшей площадки.

Наконец, последний (третий) этап — исследование определен участков выбранной площадки — имеет целью уточнение полу ных ранее данных; он проводится по мере надобности, в сл большой сложности или обнаружения каких-либо непредвиден ранее обстоятельств. При этом здесь, как и раньше, необход продуманное согласование местных мерзлотных и геологиче условий с требованиями производства, экономикой и т. д.

Как было отмечено выше, все исследования должны быть к плексными. Поэтому при более или менее значительном сооруже весьма желательно, чтобы исследование было поручено комис в составе не менее шести лиц: 1) инженера-строителя, зн мого с мерзлотой и данным типом сооружений; 2) инжене технолога — специалиста по производству, для которого п назначается данное предприятие; 3) мерзлотоведа, ориентирую гося в строительных вопросах; 4) инженера-геолога, знакомог мерзлотой; 5) инженера-гидрогеолога, знакомого с мерзлот 6) топографа.

Исследования рекомендуется производить заблаговременно два приема, летом и зимой. Летом проводится большая часть исс дований, а зимой только некоторые специальные, которые не гут быть проведены летом. К этим последним относятся: изуче снегового покрова, глубины промерзания разных грунтов при раз влажности и при разных условиях поверхностного покрова, изу ние зимних выходов ключей, наледей речных, ключевых и грун вых, толщины льда и промерзания рек, озер и других водото и водоемов.

2. Общее исследование местности для выбора строительной площадки

Основной целью этого исследования является выбор возможн вариантов строительных площадок для данного сооружения.

Так как большинство объектов промышленного и коммунально строительства может быть легко передвинуто в данном районе

ста на место на довольно большое расстояние, измеряемое сот-
ми метров и даже километрами, в этой стадии изысканий следует мотреть и изучить возможно большее пространство района (в еднем до 50 $км^2$); это пространство определяется обычными кно-экономическими соображениями о размещении данного ъекта.

В качестве метода таких предварительных исследований уместно инять визуальные исследования в сочетании, если это удобно и зможно, с ограниченным бурением и шурфованием.

Общее исследование местности должно дать представление о йоне в мерзлотном, геологическом, топографическом и строитель-м отношениях.

Конкретно предварительное общее исследование местности лючает следующие мероприятия.

Прежде всего изучение по различным источникам материалов данному району. Здесь имеются в виду разнообразные труды — иги, статьи, ведомственные материалы и т. д.

Далее рекомендуется произвести беглый осмотр района и на новании этого составить общее описание района, включающее щую мерзлотную и геологическую, а также и краткую гидроло-ческую характеристики. Для данного района следует выяснить: среднюю годовую температуру; б) высоту снегового покрова; количество осадков (пользуясь соответствующими источниками внеся если возможно свои коррективы). Затем нужно выбрать е-три наиболее подходящие площадки для сооружения, учитывая ычные требования о размере площадки, планировке, обеспечении ъекта водой и о легкости сообщения с участком. Наконец, над-жит составить общее описание каждой из выбранных площадок. о описание должно кратко содержать следующие общие сведе-я: а) характер и влажность грунтов, залегающих на данной ощадке; б) приблизительная глубина залегания вечной мерзлоты; наличие коренных пород.

При выборе вариантов площадок необходимо руководствоваться едующими указаниями.

1. Рекомендуется не останавливаться на таких площадках, ко-рые представляют собой заболоченные участки стариц, речных юсов и просто марей или, наконец, вообще являются наиболее зкими местами в данном районе.

2. Следует выбирать возвышенные места как менее влажные обеспечивающие легкую возможность отвода поверхностных и унтовых вод.

3. Необходимо отдавать предпочтение склонам, обращенным юг или юго-восток.

4. Рекомендуется стремиться выбирать места, где коренные роды выходят на дневную поверхность или залегают близко нее, а также места, где встречаются галечные, гравелистые или упнопесчанистые грунты.

5. Следует избегать наледных участков.

6. Разумно отдавать предпочтение таким площадкам, где веч-
і мерзлота залегает наиболее глубоко.

7. Совершенно недопустимо выбирать места с погребенн льдами или с провальными озерами.

8. Необходимо обращать внимание на растительность и от вать преимущество участкам с лесом, в особенности с соснов наличие которого, в большинстве случаев, свидетельствует сравнительной сухости почвы, об относительно глубоком залега слоя вечной мерзлоты и о лучших строительных качествах гру

9. В районе гнездовой мерзлоты желательно останавливат на участке, свободном от вечной мерзлоты.

10. В районе слоистой мерзлоты целесообразно выбирать п щадки с маломощным слоем мерзлоты.

11. Во избежание сложных и дорогих защитных и регулиров ных сооружений, следует назначать площадку выше самого вы кого уровня воды в ближайшей реке, т. е. выше уровня летн или осеннего половодья.

3. Общие подробные исследования выбранных вариантов площадок

А. Предварительные исследования

Для окончательного выбора конкретной оптимальной площад наиболее удовлетворительные из первоначально намеченных п щадок должны быть подвергнуты предварительным исследования углубляющим и уточняющим полученные ранее данные.

Предварительные исследования надлежит производить с п мощью бурения и шурфования, развертываемого в надлежащ объеме. Они имеют своим назначением установить следующ основные характеристики площадок:

1) характеристику вечной мерзлоты;

2) характер и влажность грунтов деятельного слоя и верхн части слоя вечной мерзлоты;

3) наличие коренных пород, их свойства и условия залегания;

4) наличие и характер грунтовых вод, а также горизонт их;

5) глубину залегания слоя вечной мерзлоты в нескольких то ках площадки;

6) температуру верхней части слоя вечной мерзлоты;

7) наличие и близость местных строительных материалов.

После анализа и сравнения всех этих сведений для всех вари тов можно решить вопрос о том, какая из площадок может с таться наиболее подходящей, т. е. оптимальной. Очевидно, ч выбранная площадка должна обладать наиболее благоприятн комплексом внешних условий, т. е. должна быть:

а) с рельефом поверхности, обеспечивающим возможность вода поверхностных и грунтовых вод;

б) с наиболее близким к дневной поверхности залеганием кор ных пород;

в) с наиболее низким горизонтом грунтовых вод;

г) с наилучшими строительными качествами грунта и с наиме шей его влажностью. На этой же стадии исследований, преду

ждая несколько другие полевые работы или развиваясь совместно с ними, должна быть произведена топографическая съемка местности.

Б. Окончательные исследования

Окончательные исследования выбранной строительной площадки предназначаются для установления всех данных, нужных для составления технического проекта всех сооружений. Поэтому они должны быть подробными, тщательно проделанными и вестись по следующей программе.

Инженерно-геологические исследования должны дать следующие материалы:

1) общее инженерно-геологическое описание данной местности и самой площадки;

2) геологическую карту;

3) продольные и поперечные геологические разрезы площадки, составленные на основании шурфования и бурения, с показанием на этих разрезах верхней границы слоя вечной мерзлоты;

4) выяснение данных о наличии и расположении местных строительных материалов (песок, гравий, галька и т. д.).

Мерзлотные исследования преследуют цель выяснения следующих вопросов:

1) определение глубины залегания слоя вечной мерзлоты и мощности деятельного слоя на площадке;

2) выяснение характера и особенностей вечной мерзлоты в данной местности и особо на выбранной площадке;

3) установление температурного режима деятельного слоя и отдельно слоя вечной мерзлоты;

4) составление мерзлотно-грунтовой карты и разрезов почвы;

5) определение по возможности мощности слоя вечной мерзлоты.

Гидрологические и гидрогеологические исследования следует вести по такой программе:

1) выяснить гидрогеологические условия площадки и генезис имеющихся на ней грунтовых вод, обратив особое внимание на надмерзлотные воды;

2) проследить наличие и залегание погребенных льдов и вообще ледяных включений;

3) изучить динамические процессы в деятельном слое, т. е. наличие пучин, наледей и пр.;

4) выяснить возможность снабжения предприятия водой, исследовав водоемы, ключи и речки.

Исследования строительных свойств грунтов необходимо провести отдельно для грунтов деятельного слоя и для грунтов слоя вечной мерзлоты по следующей программе:

1) определение гранулометрического состава грунта;

2) установление влажности слоев грунта;

3) выяснение объемного веса мерзлого грунта естественной структуры;

4) нахождение удельного веса твердой фазы грунта;

5) испытание проб грунта слоя вечной мерзлоты на оттаивание;

6) исследование сжимаемости оттаявшего грунта слоя вечной мерзлоты;

7) опытное определение прочности смерзания грунтов деятельного слоя и слоя вечной мерзлоты;

8) определение опытным путем прочности на сжатие мерзлого грунта.

Наконец, последним разделом изысканий будет топографическая съемка.

Все приведенные выше исследования рекомендуется производить определенными способами и придерживаясь единой методики. В дальнейшем даются только некоторые разъяснительные указания в этом отношении, так как лучше всего при исследованиях придерживаться инструкций Академии наук СССР.[1]

Геологические исследования должны включать геоморфологию местности, условия образования, существования и распространения коренных пород, изучение петрографического состава, стратиграфии и тектоники их и исследование наносов для выявления их литологического состава и расположения в плане и профиле. Эти исследования производятся путем изучения имеющихся местных литературных материалов и осмотра на месте, сопровождаемого шурфованием и бурением. Все эти исследования необходимо производить летом или осенью.

При исследовании вечной мерзлоты большое значение имеет определение верхней границы вечной мерзлоты и мощности деятельного слоя.

Первая определяется по возможности перед наступлением холодов в ряде точек площадки, причем эти точки должны быть увязаны с разновидностями грунтов, с рельефом местности, с растительностью и поверхностным покровом почвы, так, чтобы каждая разновидность грунта и каждый вид поверхностного покрова почвы имели по 2—3 контрольных скважины или шурфа. Число точек, в которых определяется верхняя граница вечной мерзлоты, необходимо назначать таким образом, чтобы с их помощью можно было установить характер рельефа верхней поверхности вечномерзлого грунта, т. е. провести изогипсы. Это необходимо, так как уровень слоя вечной мерзлоты далеко не всегда следует за изменениями дневной поверхности почвы. Определенная таким образом верхняя граница мерзлоты является ориентировочной, ибо только многолетние наблюдения способны дать более или менее точные цифры. С другой стороны, при пользовании полученными данными нельзя забывать, что после возведения сооружений и освоения людьми данной местности найденная граница вечной мерзлоты сильно изменится, как об этом говорилось ранее.

Для определения глубины залегания вечной мерзлоты существует несколько способов. Из них простейшими являются шурфование и бурение. Так как бурение не всегда дает правильные дан-

[1] Сборник инструкций и программных указаний по изучению мерзлых грунтов и вечной мерзлоты, Академия наук СССР, 1938.

ные, лучше, где это удобно и возможно, делать шурфы до слоя вечной мерзлоты и далее применять бурение.

Вполне уместно применение также иных, более современных, так называемых геофизических методов, а именно электрометрического и сейсмометрического.[1]

Установление верхней границы слоя вечной мерзлоты при сливающейся мерзлоте определяет и мощность деятельного слоя. В случае глубокого залегания мерзлоты мощность деятельного слоя, в данном случае мощность слоя зимнего промерзания, должна быть определена особо в конце зимы. Глубина буровых скважин вообще зависит от естественных условий и от размеров сооружения; для более значительных сооружений она должна быть назначена (по мнению М. И. Сумгина) около 25—30 *м*, считая от поверхности земли. В случае крупного строительства полезно иметь хотя бы одну скважину, доходящую до нижней границы слоя вечной мерзлоты.

Шурфование и бурение служат не только для мерзлотных, но и для других исследований; поэтому все шурфы и скважины следует занумеровать, нанести на карту, взять их отметки и для каждого шурфа и каждой скважины вести журнал и карточки, регистрируя в них все необходимое в соответствии с целями различных исследований.

Характер и тип вечной мерзлоты устанавливаются при бурении изучением вынутых из скважины образцов грунта и при помощи термометрических измерений.

Последние производятся в скважинах во время бурения по мере проходки или после того как скважина закончена. Первое лучше второго, но требует приостановки бурения для того, чтобы термический режим в скважине, возмущенный бурением, вернулся к обычному. Для этого нужен срок от нескольких часов до трех суток.

Измерение температур выполняется при помощи почвенных термометров, имеющих специальную оболочку. При опускании термометра в скважину, в последнюю помещают для защиты эбонитовую или металлическую трубку. Почвенные термометры делаются заленивленными, чтобы их показания возможно меньше зависели от температуры наружного воздуха при отсчетах, которые делают на поверхности земли, вынув термометр из скважины. Заленивливание состоит в обделке шарика со ртутью каким-либо нетеплопроводным материалом. Измерять температуру следует в верхнем слое почвы через каждые 40—50 *см* до глубины 2—3 *м*, а ниже — через 2—3 *м*.

Ввиду того что полученные при изысканиях данные о температуре в известной мере неточны, желательно поставить в нескольких скважинах данной площадки круглогодичные наблюдения за

---

[1] В. Ф. Бончковский и Ю. В. Бончковский, Исследование применимости сейсмического метода к определению глубины залегания вечной мерзлоты, Труды Комиссии вечной мерзлоты Академии наук, том V, 1937.
К. А. Хейланд, Геофизические методы разведки, ГОНТИ, 1932.

температурой на глубину около 5—6 *м* и не менее чем на двойную глубину предполагаемого заложения фундаментов сооружения.

Гидрологические и гидрогеологические исследования производятся в два приема — летом и зимой. Для части этих исследований удобно использовать имеющиеся на площадке шурфы и скважины. При помощи последних следует несколько раз в лето проделать замер уровня грунтовых вод и составить для всей площадки гидроизогипсы, т. е. горизонтали одинаковых уровней грунтовых вод, которые дадут указание о характере и направлении потока подземных вод. В период летних исследований устанавливается характер распределения влажности в деятельном слое и в слое вечной мерзлоты по пробам из шурфов взятым через каждые 0,50 *м*.

Летом и повторно зимой изучаются водоемы, ключи, реки и выясняются места образования наледей. Для изучения зимнего режима водоисточников необходимо выяснить промерзание их, время ледостава, наличие незамерзающих участков и зимние выходы ключей. Необходимо уделить внимание половодьям рек, особенно если они связаны с атмосферными осадками.

Водоснабжение сооружений в условиях вечной мерзлоты часто бывает очень сложным и этому вопросу должно быть уделено особо серьезное внимание.

При устройстве водоснабжения в условиях вечной мерзлоты перед строителями стоят два основных вопроса, успешное разрешение которых требует совершенно особых методов: 1) обеспечение водоснабжения достаточно надежным водоисточником и 2) возможность подвести воду к месту потребления и распределить ее по разборным трубопроводам.

О сложности первого свидетельствуют трудности, испытанные в свое время строителями железных дорог. Дело в том, что громадное большинство водоисточников, несмотря на обилие воды летом, зимой промерзает, отчего воду добыть негде. На многих дорогах нередко приходилось снабжать дорогу водой путем добычи льда и таяния его в специальных снеготаялках. На фиг. 65 показана добыча воды на р. Чичатке пожогом, т. е. разжиганием костров. Вода, полученная столь примитивным способом, по бороздам, прорубленным во льду, собиралась в особый резервуар, устроенный в деревянном отапливаемом домике на льду, и оттуда подавалась к месту потребления пульзометром.

Второй вопрос о подводке воды к месту потребления тоже весьма сложен, хотя он в основном решен теперь применением подогрева воды. Ввиду большой важности вопроса о водоснабжении исследования в этом отношении должны иметь особый характер и выходят за пределы данной работы, отчего в дальнейшем этот вопрос подробно не рассматривается. Исследования для целей водоснабжения изложены в работах М. Я. Чернышева.[1]

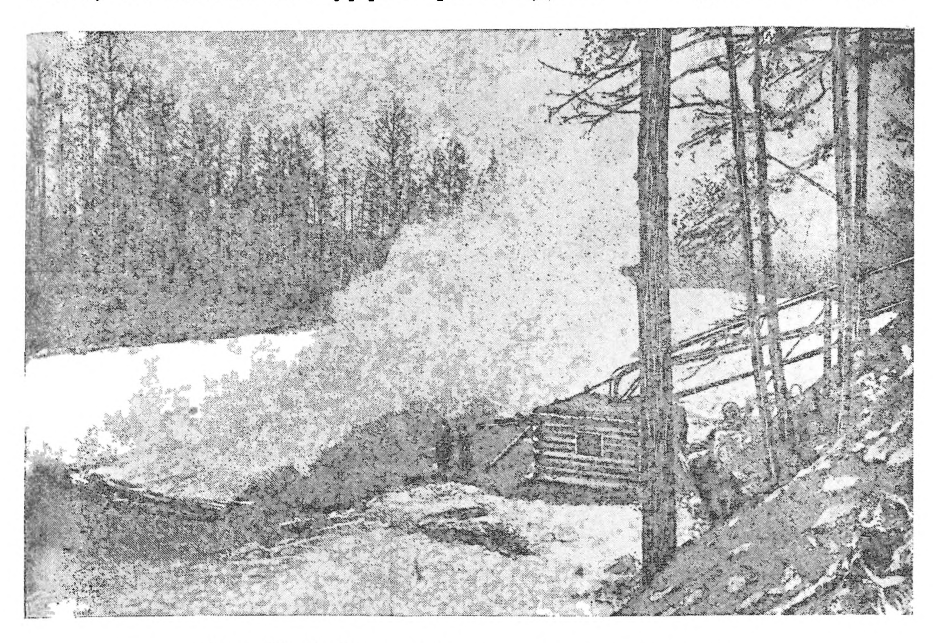
---

[1] М. Я. Чернышев, Водоснабжение в условиях вечной мерзлоты, ОНТИ 1933. Водоснабжение железных дорог в районах вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1939.

Следует заметить, что наибольший успех в деле водоснабжения сулит использование подмерзлотных вод и ключей.

Определение большинства **строительных свойств грунтов** производится способами достаточно известными и потому на них можно не останавливаться. Необходимо указать только на большое значение для определения допускаемых нагрузок, расчета осадок при оттаивании и т. д., тщательного и правильного определения объемного веса мерзлых грунтов естественной структуры и влажности.

Производство испытания на оттаивание вечной мерзлоты состоит в том, что взятый из шурфа образец грунта с ненарушенной струк-



Фиг. 65. Добыча воды пожогом на р. Чичатке.

турой укладывается в стеклянную банку и подвергается там действию тепла. Поведение и состояние оттаивающего образца служат предметом наблюдения и являются дополнительной характеристикой поведения мерзлоты при оттаивании под сооружением.

Исследование сжимаемости оттаявшего грунта удобно производить в приборе, предложенном Н. А. Цытовичем. Все данные по этому поводу можно найти в книге Н. А. Цытовича и М. И. Сумгина «Основания механики мерзлых грунтов», стр. 376. Там же имеются указания о производстве полевых испытаний мерзлых грунтов пробной нагрузкой при оттаивании. [1]

---

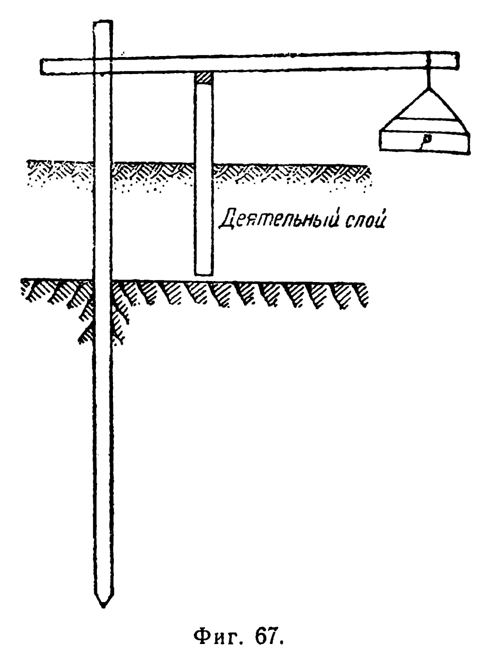
[1] В настоящее время Н. А. Цытовичем предложена новая более уточненная методика испытания мерзлых грунтов на осадку при оттаивании. Эта методика заключается в том, что испытание проводится при различном внешнем давлении (например 1 и 3 $кг/см^2$).

Большое значение для многих сооружений имеет величина прочности смерзания грунтов деятельного слоя с материалом фундаментов. Эту величину необходимо определять на месте в естественных условиях, так как лабораторные испытания дают результаты, которые не могут быть правильно использованы в практических расчетах.

Идея и принцип устройства весьма удобного аппарата для определения выпучивающего усилия предложены инж. Н. И. Быковым.[1]

Несколько уточненная конструкция такого аппарата, способного принять выпучивающее усилие в 40 *т*, приводится на фиг. 66. Аппарат состоит из железобетонной конической сваи длиной 5 *м*, заглубляемой в слой вечной мерзлоты при помощи американской паровой иглы. Свая армирована продольной арматурой из 6 прутьев $d = 22$ *мм* и спиралью. В тело сваи помещен стальной круглый стержень $d = 50$ *мм*, снабженный внизу шайбой и гайкой. Стальной стержень выступает из тела сваи на длину 3,30 *м*. На выступающий конец надевается цилиндр из железобетона или дерева, длиной 2 *м*, диаметром 20 *см*. Отверстие в цилиндре назначено $d = 7$ *см*, т. е. на 2 *см* больше диаметра стального стержня. Это отверстие при установке должно быть заполнено тавотом, техниче-

Фиг. 66.



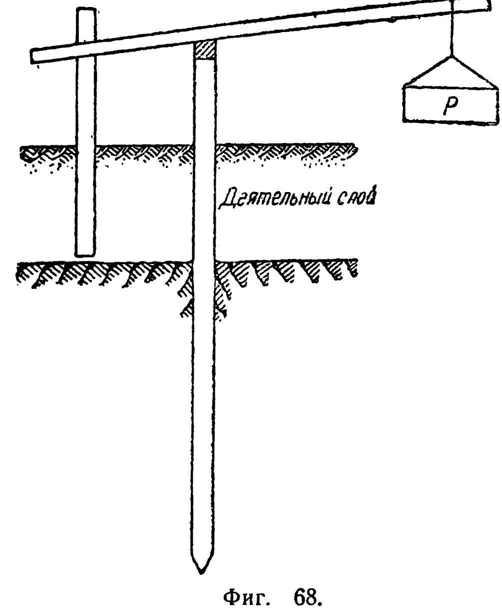
Фиг. 67.

[1] Н. И. Быков, Строительная промышленность, № 7, 1937.

ским вазелином или дегтем. В верхней части цилиндр имеет оголовник в виде стальной шайбы, на которую укладывается стальная пружина, сверху которой помещаются особая шайба и гайка.

Пружина должна быть испытана и устроена так, как это делается для пружинных весов. Определенное сжатие пружины должно соответствовать определенной силе. Сбоку на цилиндре установлены стрелка и зубчатая рейка. Выпучивание цилиндра, на котором укреплена стрелка, заставит подняться и ее. Поднимаясь, стрелка может на особом барабане зарисовать характер деформаций и их величину, если барабан снабдить соответствующей градуировкой.

Для поворота барабана имеется зубчатая передача, приводимая в движение самим пучением с помощью зубчатой рейки. Ход процесса пучения во времени отмечается при периодических осмотрах установки.



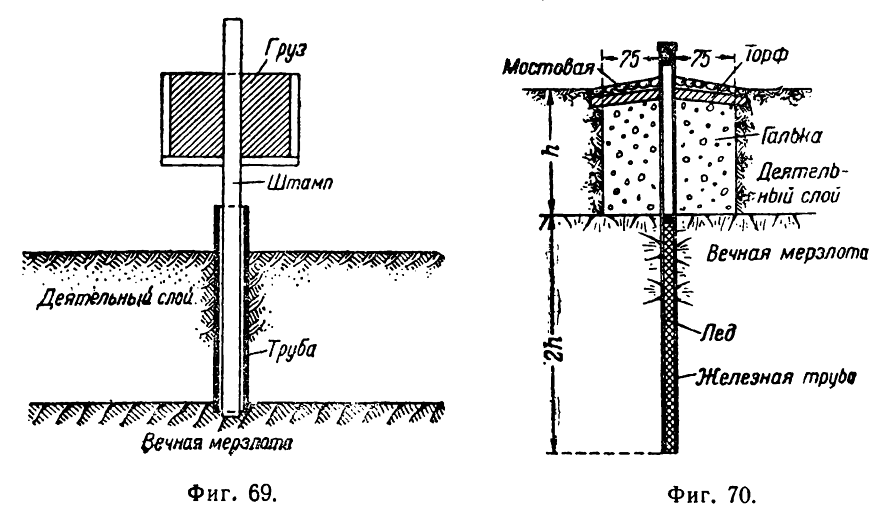
Фиг. 68.

Более примитивным способом определения величины выпучивающих сил является другой способ, применявшийся инж. Н. И. Быковым на мерзлотной станции. Он состоит в том, что испытываемый короткий столб нагружается с помощью рычага, одним концом укрепленного на свае, заглубленной настолько, что пучение не может ее вырвать, а на другом конце загруженного грузом P (фиг. 67). Так как P постоянно, то для испытания нужно приготовить несколько образцов (не менее 5), нагрузив их различными грузами, несколько большими и несколько меньшими предполагаемого груза P, способного уравновесить выпучивающее усилие. Вследствие того что большая диференциация нагрузки потребовала бы значительного числа таких установок, приходится ограничиваться в нагрузке довольно большими интервалами, что сильно понижает точность определений. Однако этот способ очень прост и легко выполним в любых условиях. Достаточно большое число столбов (10—20) способно дать вполне достоверные данные.

Кроме этого применяется третий способ (фиг. 68), заключающийся в том, что из почвы при помощи рычага выдергивается столб, помещенный в деятельный слой и смерзшийся с ним. Этот способ даст некоторое представление о прочности смерзания, но едва ли он будет характеризовать ее вполне точно, так как неизвестно время когда следует произвести испытание. Если начать его слишком рано, то получатся преуменьшенные данные, если же

провести его тогда, когда промерзнет деятельный слой, то могут получиться преувеличенные данные, ибо в момент максимального пучения глубина промерзания и, следовательно, площадь смерзания столба с грунтом будут меньше.

Для испытания механической прочности на сжатие слоя вечной мерзлоты могут быть использованы приемы, применяемые для испытания сопротивляемости грунта в буровых скважинах, т. е. опускание штампа той или иной конструкции, с последующей его нагрузкой. К этой категории относится прибор, предложенный инж. Н. И. Быковым, изображенный на фиг. 69. Он состоит из железной обсадной трубы, опущенной до слоя мерзлоты и немного врезающейся в нее; в обсадную трубу вставляется труба меньшего диаметра с закрытым концом, которая и является штампом. Нагрузка прикладывается при помощи ящика, прикрепленного к трубе-штампу.



Фиг. 69.

Фиг. 70.

Наконец, что касается топографических исследований, то эта часть исследований не представляет ничего нового по сравнению с работами, проводимыми в обычных не мерзлотных условиях, и содержит простые геодезические работы, устанавливающие характер строительной площадки в плане и в профиле.

Во избежание ошибок эти работы следует проводить летом, а не зимой, так как зимние работы могут привести к большим ошибкам. Дело в том, что обычное для районов вечной мерзлоты пучение грунтов чрезвычайно сильно меняет микрорельеф почвы и взятые зимой отметки резко разойдутся с летними, не говоря уже о наледях и буграх пучения. Кроме этого низкие температуры воздуха затрудняют работы даже в южных районах, а тем более в северных. Северные районы к тому же весьма сильно подвержены снегопаду с метелями и вьюгами.

Особое внимание следует обратить на устройство реперов. Репер должен быть устроен на скале, выступающей над поверхностью земли. При отсутствии скалы в данном районе необходимо

делать так называемый мерзлотный репер. Это металлическая труба диаметром не менее 5 *см* с отверстиями в нижней части, опущенная в предварительно пробуренную скважину соответствующего диаметра (фиг. 70). Глубина скважины от поверхности земли должна быть не менее тройной глубины максимального оттаивания верхнего слоя почвы.

Трубу, установленную на место, заполняют водой на глубину ее заложения в мерзлый грунт. После того как вода в трубе замерзнет, грунт вокруг трубы на ширину 0,75 *м* выбирается до верхней границы мерзлоты, котлован заполняется галькой, гравием или крупным песком и сверху слоем торфа.

Другой тип репера представляет собой деревянную сваю, заглубленную в грунт на тройную глубину максимального оттаивания при помощи паровой иглы. По предыдущему вокруг сваи местный грунт надо выбрать и заменить непучащейся засыпкой. Свая в пределах оттаивающего слоя должна быть острогана, осмолена, и щели в стволе ее тщательно зашпаклеваны.

В районах глубокого промерзания для устройства репера также можно воспользоваться деревянной сваей, забив ее обычным способом в грунт на тройную глубину промерзания. В пределах промерзающего слоя свая попрежнему должна быть острогана и осмолена. Вокруг сваи на глубину промерзания местный грунт необходимо выбрать и котлован засыпать, как сказано выше.

В заключение этого параграфа следует подчеркнуть необходимость учитывать местный опыт строительства, если он имеется в данном районе. Совершенно обязательно ознакомиться с состоянием существующих построек, произведя для этой цели специальные исследования. Примерная инструкция по исследованиям существующих сооружений приводится в приложении.

Нормы и технические условия проектирования оснований и фундаментов в условиях вечной мерзлоты (ОСТ 90032—39) придают очень большое значение вопросу об изысканиях и включают ряд существенных указаний. Выборка из норм приводится ниже.

III. Инженерно-геологические исследования строительных площадок

§ 14. При выборе строительной площадки необходимо обращать особое внимание на грунтовые условия; при этом следует отдавать предпочтение:

а) «сухой мерзлоте»;

б) крупнозернистым пескам, не имеющим ледяных прослойков и линз.

Не рекомендуется выбирать строительные площадки на грунтах:

а) переувлажненных, с ледяными линзами и прослойками;

б) мелкозернистых (суглинки, пылеватые пески и т. п.), так как они обычно обладают повышенной льдонасыщенностью и при оттаивании приходят в разжиженное состояние, создавая большие трудности при устройстве оснований.

§ 15. Инженерно-геологические и мерзлотные исследования площадки строительства и прилегающих к ней участков должны охарактеризовать:

а) рельеф и геологическое строение участка;

б) мерзлотные условия: мощность деятельного слоя, характер слоя вечной мерзлоты (слоистая или непрерывная мерзлота, сливающаяся или несливающаяся), их температурный режим и т. д.;

в) гидрогеологические условия, режим грунтовых вод (направление потока, скорость и т. д.), гидромеханические, температурные и другие условия;

г) состояние грунтов, наличие прослойков и линз льда, гранулометрический состав, объемный и удельный веса, влажность и т. п.

д) податливость грунтов под нагрузкой в процессе испытания в полевых или лабораторных условиях.

§ 16. Мощность деятельного слоя определяется на основании многолетних наблюдений метеорологических мерзлотных станций. В случае отсутствия этих данных определяются:

а) при сливающейся мерзлоте — наибольшая глубина оттаивания за данный год посредством проходки шурфов или скважин в самом начале зимнего промерзания (в сентябре-октябре);

б) при несливающейся мерзлоте — наибольшая глубина промерзания в начале летнего оттаивания (в марте — апреле).

Для получения максимальной глубины промерзания или оттаивания берется поправка по материалам многолетних наблюдений за температурой воздуха и почвы ближайшей метеорологической станции с учетом высоты снегового покрова и времени его выпадения.

Таблица 1

Районы вечной мерзлоты	Мощность деятельного слоя в *м* при грунтах		
	песчаных	глинистых	торфяных
Южнее 55-й параллели . . .	3—4	1,8—2,5	0,7—1,0
На параллели Якутска . . .	2,0—2,5	1,5—2,0	0,5—0,8
На побережье Ледовитого океана	1,2—1,6	0,7—1,0	0,2—0,4

При отсутствии достоверных опытных геологических данных рекомендуется контролировать принятую мощность деятельного слоя посредством теплотехнических расчетов с учетом местных климатических и грунтовых условий.

При разработке проектного задания мощность деятельного слоя в зависимости от района может быть принята по табл. 1.

§ 11. ИЗЫСКАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

1. Общие замечания

Основная задача обычных технических изысканий — выбор в данных реальных топографических и геологических условиях наивыгоднейшей трассы для заданного экономическими изысканиями направления проектируемой линии — сохраняется и в условиях вечной мерзлоты. Но решение этой задачи сильно осложняется необходимостью учета мерзлотных условий. Последние в некоторых случаях, при определенном сочетании грунтовых и гидрогеологических условий, могут играть решающую роль в вопросах обеспечения устойчивости земляного полотна и других дорожных сооружений, в отношении стоимости производства работ и будущих эксплоатационных расходов. Поэтому все виды и стадии технических изысканий должны носить комплексный характер и производиться одновременно с другими обследованиями, необходимыми для выявления всех обстоятельств заланий вечной мерзлоты в районе проектируемой линии.

Топографические работы по проложению трассы при всех видах технических изысканий должны сопровождаться геологическими, гидрогеологическими, почвенно-грунтовыми, мерзлотными и метеорологическими обследованиями трассы.

Для правильной и полной оценки топографических и гидрологических условий и для ускорения и удешевления изыскательских

работ и обследований (в особенности в районах с мощным снеговым покровом и сильными метелями), все виды комплексных технических изысканий должны, как правило, производиться летом.

Некоторые обследования, относящиеся к выявлению мерзлотных, гидрологических и гидрогеологических условий, следует выполнять в два приема: летом и в конце зимы. К зимним обследованиям относятся изучение снегового покрова, выяснение глубины промерзания при разных грунтах, при разной влажности и разных условиях поверхностного покрова, изучение зимних выходов ключей, наледей речных, ключевых и грунтовых, толщины льда, промерзания рек, озер и других водотоков и водоемов.

Все зимние обследования должны быть выполнены в первых двух стадиях технических изысканий. В окончательных изысканиях зимние обследования допускаются лишь в размерах, строго необходимых для решения перечисленных специальных задач, если материал, собранный при рекогносцировочных изысканиях, окажется недостаточным. Обоснования времени изысканий были подробно приведены ранее.

Нормальный состав изыскательской партии, определяемый общими техническими условиями, для комплексных изысканий в районе вечной мерзлоты целесообразно пополнить следующими специалистами: геологами, основательно знакомыми с вопросами гидрогеологии и грунтоведения, и геофизиками специалистами в области мерзлотоведения. Начальник партии или отряда комплексных технических изысканий для надлежащей оценки, увязки и использования результатов геологических, гидрогеологических и мерзлотных обследований должен обладать достаточными теоретическими познаниями и практической подготовкой в области геологии, гидрогеологии и мерзлотоведения.

Последнее очень важно, ибо есть немало примеров, когда недостаточное знакомство строителей изыскателей с вечной мерзлотой и комплексом вопросов с ней связанных приводило впоследствии к трудно исправимым недоразумениям.

2. Общий характер, порядок и состав изысканий

В целях наилучшего изучения трассы и условий постройки дороги рекомендуется следующий порядок изысканий:

1) комплексная рекогносцировка;
2) предварительные комплексные инструментальные изыскания;
3) окончательные комплексные изыскания.

Все эти изыскания выполняются в общем в соответствии указаниями общих технических условий проектирования дорог, но с учетом специфики районов, занятых вечной мерзлотой, в соответствии со сказанным далее.

В порядке постепенного развития технических изысканий особенное внимание следует уделять комплексной полевой рекогносцировке, которая должна охватить возможно более широкую полосу района каждого из намеченных направлений проектируемой линии. Ширина полосы, охваченной рекогносцировкой, определяется местными топографическими, геоморфологическими и мерзлотными условиями и должна быть в среднем около 5—10 *км*.

Основной задачей комплексной полевой рекогносцировки (первичной стадии технических изысканий) должен быть отбор вариантов трассы, в том числе и наиболее благоприятных в мерзлотном отношении. Правильное решение поставленной задачи позволит при дальнейшем уточнении трассы в стадии дорогих инструментальных изысканий (предварительных и окончательных) не затрачивать излишнего времени и не производить излишних расходов на те варианты, которые должны быть отброшены по мерзлотному неблагополучию.

В соответствии с основной задачей комплексной полевой рекогносцировки при производстве ее дается общее геологическое освещение района (тектоника, морфология, стратиграфия и литология) и выясняются все обстоятельства, характеризующие особенности вечной мерзлоты в районе каждого из намеченных вариантов. К последним относятся: род грунтов и их влажность, характер гидрологических условий, поверхностный покров почвы, наличие марей, наледей, погребенного льда, толщина деятельного слоя, глубина залегания верхней границы вечной мерзлоты, мощность слоя мерзлоты в пределах, имеющих практическое значение, характер и температура вечной мерзлоты, толщина льда в реках и других водоемах и промерзаемость их до дна. Кроме того изучаются метеорологические особенности района и другие физико-географические факторы.

При предварительных инструментальных изысканиях производится общее подробное и точное топографическое, геологическое и мерзлотное исследование конкурирующих направлений (двух или трех). Пополняются и уточняются все приведенные в предыдущем параграфе геологические и мерзлотные данные, собранные для сравнения вариантов, если результаты рекогносцировки не дали возможности остановиться на одном варианте.

Основная задача комплексных предварительных технических изысканий заключается не в сравнении конкурирующих направлений, это в основном должно быть сделано при комплексной рекогносцировке, а в улучшении уже выбранного направления путем частичных вариантов.

Из сказанного следует, что все эти обследования производятся уже на менее широкой полосе, чем при рекогносцировке, но с большей точностью и с применением разведочных работ. Бурение и шурфование производятся во всех характерных пунктах, обусловливающих изменения в рельефе верхней поверхности вечной мерзлоты; к таким относятся, например, бугры, впадины, берега рек и других водотоков, болота, в местах перемены грунта, поверхностного покрова, экспозиции склонов и т. п.

Окончательные комплексные изыскания имеют целью отделку и закрепление трассы по направлению, установленному при предварительных изысканиях.

Во время этих изысканий уточняется положение проектной оси полотна и вырабатывается наивыгоднейший в мерзлотном отношении продольный профиль. Собираются все данные, необходимые для составления индивидуальных проектов отдельных сооружений и для разработки специальных мероприятий, обеспечивающих

тойчивость земляного полотна и других сооружений с учетом го или иного характера мерзлоты в каждом отдельном случае.

Из сказанного видно, что комплексные обследования этой стаци технических изысканий касаются лишь тех отдельных участков трассы, которые этого требуют в силу своей особой сложности и недостаточной освещенности в предшествующих стадиях изысканий. Обследования распространяются на еще более узкую полосу, чем при предварительных изысканиях, но зато производятся еще большей полнотой и точностью.

Обследования должны производиться в пределах выемок (за исключением выемок в скальных, каменистых, крупнощебенистых ли галечных грунтах), на болотах и в пределах насыпей, возводимых из землистых грунтов, если их высота меньше толщины деятельного слоя для данных местных условий. Кроме того обследования должны производиться на станциях и в пределах искусственных и крупных гражданских сооружений (вокзалы, паровозные и вагонные здания, разные мастерские, здания для водоснабжения, для электрических станций и т. п.).

При помощи этих обследований должен быть собран материал, а основании которого можно было бы составить продольные и поперечные геологические разрезы. На последних должны быть казаны: напластования и качество грунтов деятельного слоя и вечной мерзлоты, их естественная влажность на разных глубинах, расположение и размеры ледяных линз.

В результате окончательных комплексных изысканий должно быть получено полное геологическое, гидрогеологическое, грунтовое и мерзлотное освещение данного участка проектируемой линии в объеме, достаточном для составления технического проекта.

3. Задачи и характер геологических, гидрогеологических, мерзлотных и гидрологических исследований

Геологические и гидрогеологические исследования включают две задачи: 1) получение обычных данных, необходимых для выбора трассы, обусловливающей устойчивость и наиболее экономичное возведение земляного полотна и всех других сооружений и 2) получение специальных данных, способствующих наилучшему освещению всех особенностей вечной мерзлоты обследуемого района.

Объем и содержание геологических и гидрогеологических исследований первых двух этапов (рекогносцировочных и предварительных) определяются указаниями, сделанными в § 10.

В результате геологического обследования при окончательных изысканиях должны быть получены следующие данные:

1) геологическая карта полосы проектируемой линии;

2) общее инженерно-геологическое описание района;

3) подробное попикетное геологическое описание трассы с указанием глубины залегания коренных пород. К последнему должны быть приложены геологические разрезы в местах искусственных и крупных гражданских сооружений. В нем же должны быть указаны: рельеф и характер местности, растительность, поверхностный

покров, характер грунтов и их естественная влажность в пределах деятельного слоя, талого прослойка над вечной мерзлотой и вечной мерзлоты;

4) сведения о физико-механических свойствах грунтов;

5) данные об уровне и режиме грунтовых вод надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных;

6) подробная инженерно-геологическая характеристика площадок остановочных пунктов искусственных и крупных гражданских сооружений;

7) подробная всесторонняя характеристика косогоров, в особенности неблагополучных с инженерно-геологической точки зрения (оползни, обвалы, осыпи). Характеристика должна включать продольные и поперечные геологические разрезы. Последние должны захватывать широкую полосу вверх и вниз по косогору, по возможности от подошвы косогора до его гребня или до перехода в пологую террасу;

8) подробное описание месторождений ископаемых строительных и балластных материалов (камня, щебня, гальки, песка, гравия, глины, известняка, гипса) с указанием качества запасов и расположения относительно трассы. Полезно заметить, что при поисках строительных и балластных материалов в районе вечной мерзлоты и гористых местностях при узких долинах в южной части Дальневосточного края полезно исследовать плоскогория по бокам долины. Здесь, даже на высоте 200—300 *м* от дна долины, часто встречаются древние речные отложения песка, гравия, гальки.

В задачу мерзлотных исследований входит выяснение всех условий залегания вечной мерзлоты в районе проектируемой железной дороги, которые могут повлиять на выбор направления трассы, на проектирование земляного полотна и других сооружений и на выработку специальных мероприятий (осушение и пр.) для обеспечения устойчивости и прочности земляного полотна всех сооружений, возводимых при наличии вечной мерзлоты. В соответствии с этой задачей должны быть произведены следующие работы:

1) установление характера вечной мерзлоты (непрерывная по горизонтальному направлению, островная, гнездовая, сплошная по вертикальному направлению, слоистая, погребенные льды);

2) определение верхней границы вечной мерзлоты и толщины деятельного слоя;

3) установление мощности слоя вечной мерзлоты в отдельных пунктах по специальному заданию;

4) составление карты мерзлотных явлений;

5) выяснение положения в плане таликов и островов вечной мерзлоты;

6) выяснение положения в плане и профиле ледяных линз;

7) определение на разных глубинах температуры деятельного слоя и вечной мерзлоты.

Что касается способов геологических, гидрогеологических и мерзлотных исследований, то все указанные ранее данные могут быть получены при помощи съемочных работ в пределах широкой полосы, района трассы, а также путем бурения, шурфования, элек

разведки и других доступных полевых методов геологических ледований, и, наконец, посредством фотографирования. Типич-) или особо сложную геологическую обстановку, с трудом под-щуюся описанию, следует фотографировать.

Число, глубина и расположение буровых скважин и шурфов жны быть сообразованы с местными геологическими условиями, овиями залегания вечной мерзлоты (сплошная, с таликами, ровная, слоистая и т. п.), характером грунтов, типом сооруже-((насыпь, выемка, труба, мост, здание и т. п.) и стадией ком-ксных изысканий (рекогносцировочные, предварительные, окон-ельные).

Вообще было бы крайне полезно составить ряд специальных трукций по исследованиям в этих условиях. Пока же можно ьзоваться упоминавшимся ранее сборником инструкций Акаде-и наук.

Если в районе трассы имеются ранее построенные сооружения, омендуется обследовать их в соответствии с указаниями при-жения в конце книги.

В задачу гидрологических и гидрогеологиче-их исследований входит получение данных, необходи-х для решения вопросов об отверстиях, числе и расположении усственных сооружений, о защите земляного полотна и других оружений от поверхностных вод, о водоснабжении линии. Кроме го, в результате гидрогеологических изысканий должны быть лучены данные для наилучшего освещения всех условий залега-я вечной мерзлоты в данном районе и связанных с нею физико-намических явлений в деятельном слое и на его поверхности.

В соответствии с этими задачами, в дополнение к исследова-ям, которые обычно производятся при технических изысканиях, лжны быть проведены следующие работы:

1) выяснение зимнего режима рек и глубины промерзания водо-ков, а также на какое время они промерзают и сохраняется ли водотоках, промерзших до дна, подрусловое течение воды. Это жет быть выяснено путем опроса местных жителей (где они еются) с обязательной проверкой при зимних исследованиях;

2) выяснение общего режима поверхностных вод летом и зи-ой;

3) установление наличия речных наледей, их происхождения и зможного влияния на положение трассы проектируемой линии;

4) выяснение качества и количества воды в источниках, наме-нных для водоснабжения линии, с точки зрения пригодности ды для питья, для паровозов и для строительных целей;

5) определение степени агрессивности грунтовых вод, для уста-овления необходимых мер защиты каменных и бетонных частей оружения;

6) изучение условий стока.

После камеральной обработки материалов, помимо обычной до-ментации, установленной составом технического проекта и соот-етствующими правительственными распоряжениями, можно реко-ендовать составление следующих документов:

1) геологической карты с нанесенными на нее мерзлотны явлениями;

2) топографической карты;

3) инженерно-геологического, гидрогеологического и мерзлот грунтового попикетного описания трассы;

4) описания месторождений строительных и балластных ма риалов;

5) геологического профиля трассы с мерзлотно-грунтовыми д ными;

6) документации по шурфованию и бурению, содержащей д ные о вечной мерзлоте;

7) документов и материалов по исследованию существующ сооружений согласно особой инструкции (см. приложение).

4. Особые указания о рациональном трассировании линии дороги в плане и профиле

Основной принцип, положенный в основу дальнейших указан о трассировании, заключается в правильном и умелом выборе ме по которым должна итти линия; под этим понимается учет ко плекса условий мерзлотного характера, геологических, гидрогео гических, а также обычных чисто экономических и технических.

Эти указания имеют чрезвычайно большое значение, так к главные меры для борьбы с вредным влиянием условий вечн мерзлоты и с присущими ей сложностями надо принимать до н чала постройки, в период изысканий и проектирования, когда цел сообразным трассированием и проектированием линии можно обе печить прочность и устойчивость земляного полотна и всех др гих сооружений при наименьшей их стоимости.

Решающее значение для выбора наиболее устойчивой трасс имеет характер грунта и степень его влажности. Поэтому для пр ложения трассы надо выбирать местность с такими грунтами, к которые вечная мерзлота влияла бы в наименьшей степени. В это отношении на первом месте стоит сплошной скальный грунт, н который вечная мерзлота не оказывает никакого вредного (дл строительства) влияния. Очень малое влияние вечная мерзлота ок зывает на разборную скалу и на каменные россыпи, если трещин в первой и промежутки между камнями во вторых не заполнен глинистыми или мелкопесчаными грунтами. Конечно, везде следуе руководствоваться и экономической целесообразностью.

В обычных условиях, т. е. вне района вечной мерзлоты, изыска тели при трассировании линии дороги стараются избегать скальны грунтов, так как последние увеличивают стоимость постройки удлиняют срок выполнения работ. Это прочно усвоенное все предыдущей практикой правило некоторые изыскатели нередко механически применяют в районе вечной мерзлоты, не учитыва особенностей вечной мерзлоты и не внося соответствующие кор рективы.

А между тем одно из наиболее важных указаний о располо жении трассы дороги и особенно железной дороги в условиях вечной мерзлоты сводится к необходимости так проектировать

ане трассу, чтобы она проходила по местам наиболее сухим с упнозернистыми грунтами (крупный песок, гравий, хрящ, галька, бень), а еще лучше — по сплошным скальным грунтам. Такая оектировка трассы в наибольшей степени обеспечивает устойчи-сть земляного полотна и всех сооружений, облегчает и удеше-ет строительство и снижает эксплоатационные расходы.

Из предыдущего вытекает необходимость при трассировании бегать мест с грунтами, состоящими из мелких песков и легких глинков, в особенности пылеватых, так как подобные грунты не эспечивают надежность всех сооружений.

При сравнении вариантов трассы в районе вечной мерзлоты при альных и мягких грунтах необходимо учитывать следующее.

1. Устойчивость насыпей и выемок при скальных грунтах пол-стью обеспечена без принятия специальных мер и без ограниче-я высоты насыпей и глубины выемок.

2. Объем насыпей и выемок при скальных грунтах значительно ньше, чем в мягких благодаря применению большей кру-зны откосов и меньшей ширине полотна в скальных грунтах. ія скальных грунтов можно допустить (в зависимости от харак-ра скалы) крутизну откосов в выемках от 1 $^1/_2$ до 1 1,10; в сыпях от 1 : 1$^1/_4$ до 1 $^3/_4$, тогда как в мягких грунтах в районе чной мерзлоты приходится придавать откосам выемок крутизну 1 : 2 до 1 : 5, откосам насыпей от 1 1$^1/_2$ до 1 : 2$^1/_2$ и положе, и же прибегать к другим дорогим мерам, к тому же не всегда еспечивающим устойчивость сооружения.

3. Нет надобности укреплять откосы скальных выемок и насы-й, а эта работа сопряжена в районе вечной мерзлоты при земли-ых грунтах с большими затруднениями.

4. Водоотводные сооружения могут быть меньших размеров и лее простой конструкции, чем при мягких грунтах.

5. При скальных грунтах удается попутно получать без отры-ія специального карьера материал для каменной кладки искус-венных сооружений, для бетонных работ, для укрепления кону-ов, русел, канав и других водоотводных сооружений и для щебе-очного балласта.

6. Отпадает надобность в сложных, не всегда надежных и ино-да очень дорогих специальных мероприятиях для обеспечения стойчивости земляного полотна, принимаемых при работах в мяг-ких грунтах.

7. Последствия от нарушения режима вечной мерзлоты в связи возведением земляного полотна не оказывают никакого влияния а полотно в скальных грунтах.

8. Выемки в вечной мерзлоте приходится разрабатывать при по-мощи взрывчатых веществ, что по стоимости приравнивает их к кальным выемкам, или путем постепенного оттаивания солнечной еплотой или пожогами, что вследствие сложности, малой произ-водительности и медленности работы обходится еще дороже, чем разработка скальных выемок.

9. Мягкий грунт из мерзлых выемок во многих случаях непри-годен для образования насыпей, что увеличивает количество транс-портных работ и рабочую кубатуру.

10. Правильное производство работ по разработке скальных выемок обеспечивает от пучин, в то время как при мягких грунтах, несмотря на самую тщательную работу, пучины могут появляться. Известно, что борьба с пучинами в условиях вечной мерзлоты особенно трудна.

Во многих районах вечной мерзлоты (например в ДВК) наиболее увлажненными местами являются долины и водоразделы, а наиболее сухими — склоны, в особенности обращенные к югу. На этих склонах чаще, чем в долинах и на водоразделах, можно встретить коренные скальные породы, выходящие на дневную поверхность или залегающие сравнительно неглубоко. Поэтому необходимо стремиться проектировать трассу по склонам и при сравнении вариантов учитывать преимущества склонов южной экспозиции.

Ссылка на ДВК показывает, что сказанное относится к Дальневосточному краю и к другим районам с аналогичными географическими и геофизическими условиями. Само собой разумеется, что в других районах нужно руководствоваться иными соображениями, соответствующими местным условиям. Например, на севере Европейской части Союза участками с отсутствием вечной мерзлоты или с ее залеганием глубже 5 *м* являются долины рек, ручьев и вообще пониженные формы рельефа. Поэтому там с мерзлотной точки зрения было бы желательно трассировать линию по долинам рек и по берегам ручьев, не поднимаясь на склоны и на водоразделы.

На севере Азиатской части СССР имеются свои особенности. Здесь, вследствие постоянных сильных ветров, снег сдувается с возвышенностей и с наветренных склонов и скопляется в низинах и на подветренных склонах (в ветровой тени). Этому, при прочих равных условиях, соответствует и глубина залегания верхней границы вечной мерзлоты, т. е. на подветренных склонах она залегает глубже, чем на оголенных.

Но при выборе направления трассы было бы неправильно руководствоваться этим соображением без учета других обстоятельств. При силе ветра, доходящей в этом районе во время метелей (пурги) до 20, а иногда и до 40 *м/сек*, борьба со снежными заносами может представить при эксплоатации не меньшие затруднения, чем борьба с вредным влиянием вечной мерзлоты. Это обстоятельство должно быть учтено при изысканиях; при трассировании линии следует избегать заносимых участков, хотя бы для этого пришлось вести линию по склонам с менее глубоким залеганием вечной мерзлоты и с менее удовлетворительными грунтами.

Равным образом в приполярных районах, где летнее солнце, поднимаясь высоко над горизонтом, совершает над ним почти полный круг, разница в степени обогревания склонов северных, южных, восточных и западных весьма незначительна, и поэтому в значительной мере теряет свое значение требование трассировать линию преимущественно по солнечным склонам.

Все это еще раз подтверждает положенную в основу всей настоящей работы мысль о том, что успешно бороться с вредным влиянием вечной мерзлоты можно только на основе комплексн

изучения всех местных условий при изысканиях и путем комплекса мероприятий, проводимых при постройке.

Поэтому вся глава III и особенно данный раздел 4 направлены к тому, чтобы утвердить изыскателя в мысли, что наиболее обеспечена от деформаций пути и сооружений та строительная площадка или трасса, для которой тщательно учтены все местные специфические особенности и взвешены возможные эксплоатационные затруднения, при соответствующем техно-экономическом анализе всех данных.

Важно указать, что при трассировании дорог уместно вообще избегать местностей с погребенным льдом, ледяными линзами, а также местностей, подверженных речным, грунтовым и ключевым наледям. Сугубо нежелательно располагать в этих местах площадки для остановочных пунктов, в особенности для деповских, участковых и других больших станций. Для этих станций следует выбирать участки с возможно близким залеганием коренных скальных пород (не глубже 5 *м*).

Что касается проектирования продольного профиля трассы, то здесь необходимо отметить желательность (но отнюдь не обязательность) трассирования линии при всех глинистых, мелкопесчаных и среднепесчаных грунтах преимущественно насыпями небольшой высоты, в пределах от 2 до 5 *м*, по возможности избегая устройства выемок в мерзлоте. В особенности следует избегать выемок в плывучих и илистых вечномерзлых грунтах. Рекомендуемая высота насыпей из всех грунтов кроме камня, щебня, гальки, гравия и крупного песка, не менее 2 *м*, объясняется стремлением избежать пучин, могущих образоваться от пропитывания низкой насыпи водою вследствие ее капиллярного поднятия.

При неглубоком залегании вечной мерзлоты и сильно влажном деятельном слое следует избегать насыпей высотой более 5 *м* из землистых грунтов, так как они склонны давать сплывы откосов. При этих условиях высота насыпи желательна не больше толщины деятельного слоя в данном месте. Кроме того под высокими насыпями вечная мерзлота может подняться и, если не будут приняты специальные меры, зайти в тело насыпи продольным горбом с крутыми боковыми гранями, по которым возможно скольжение боковых частей насыпи с дальнейшим полным ее разрушением. Высота насыпи, не превышающая толщины деятельного слоя в данном месте, удерживает верхнюю границу вечной мерзлоты в пределах естественной дневной поверхности.

Насыпи из скальных и каменистых грунтов допустимы любой высоты, так как вследствие дренирующей способности этих грунтов такие насыпи не пропитываются водой, не пучатся, не расползаются и при осадках не дезинтегрируются. Поэтому высоту этих насыпей можно не ограничивать.

Выемки в скальных и каменистых грунтах могут быть какой угодно глубины. Если невозможно избежать устройства выемок в мерзлых землистых грунтах, следует так проектировать линию, чтобы дно выемки не врезалось в слой вечной мерзлоты или не находилось близко к верхней границе вечной мерзлоты.

В случае глубокого залегания вечной мерзлоты мощным слоем дно выемки должно отстоять от верхней границы вечной мерзлоты на величину, не меньшую глубины летнего протаивания в данных условиях.

Если слой вечной мерзлоты незначителен и нет возможности выполнить предыдущее требование, следует так проектировать линию, чтобы дно выемки было ниже нижней границы вечной мерзлоты.

Последние требования вызываются необходимостью иметь устойчивое, не просёдающее и не пучащееся дно выемки. Во многих случаях бывает выгоднее перепроектировать линию для выполнения поставленного требования, чем принимать специальные меры для укрепления дна. При этом необходимо тщательно учесть все обстоятельства, включая техническую и экономическую сторону вопроса.

Ярким примером деформации выемок служит описанная на стр. 88—89 выемка. Другой пример трудностей, возникающих в таких выемках, описан на стр. 90; из приведенного описания видно, что в конце концов выемку пришлось бросить, а путь переложить на низовой кавальер.

На марях рекомендуется проектировать линию только насыпями, так как устройство выемок на марях связано со значительными трудностями. Исключение могут представлять редкие случаи неглубоких марей на скальном дне на косогорах или узких водоразделах.

Прохода линии над погребенными льдами (ледяными линзами), протаивание которых может повлечь за собой большие просадки естественной поверхности грунта, необходимо всячески избегать, особенно при мощных слоях погребенного льда и при больших линзах. В исключительных случаях для этих условий допустимо проектирование линии только насыпью. Речь идет о тех случаях, когда погребенные льды залегают на сравнительно небольшой глубине (несколько метров) и их сохранность обеспечивается толщиной лежащего над ними слоя грунта. При этом достаточно бывает снять моховой или даже просто растительный покров, чтобы начались протаивание льда и просадка местности. Поэтому совершенно понятно, что проектировать здесь полотно выемкой недопустимо. Насыпь же должна иметь такую высоту, которая надежным образом обеспечивала бы сохранность льда, причем топографические условия залегания погребенного льда обычно допускают такую проектировку.

Площадки для остановочных пунктов следует, как правило, выбирать на пологих склонах, по возможности южной экспозиции, и проектировать, преимущественно, насыпями высотой меньше 2 *м*. В скальных и каменистых грунтах допустимо проектирование площадок для остановочных пунктов выемками и полувыемками-полунасыпями.

Глава IV

ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ И СООБРАЖЕНИЯ ОБ УСТОЙЧИВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

§ 12. МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Возведение тех или иных сооружений и освоение человеком новой территории влечет за собой нарушение естественно-исторических условий существования вечной мерзлоты. Вечная мерзлота может вследствие этого исчезнуть, уйти вглубь почвы, сохранить свою верхнюю границу или даже подняться выше, т. е. приблизиться к дневной поверхности.

Изменение положения и состояния слоя вечной мерзлоты не безразлично для строителя, так как протаивание вечной мерзлоты в основании сооружения, заложенного на мерзлом грунте, как это было установлено ранее, вызывает деформации и даже разрушения сооружений. Поэтому необходимо заранее предусматривать возможность существования сооружения в условиях, возникающих после окончания строительных работ.

С другой стороны, способность вечной мерзлоты, в зависимости от создавшихся внешних условий, повышать или понижать свою верхнюю границу, приводит к мысли о возможности некоторого регулирования положения этой границы или хотя бы удержания ее в определенных пределах по отношению к нормальному положению. Механическая прочность грунтов вечной мерзлоты, пока они в мерзлом состоянии, очень велика и вызывает понятное желание воспользоваться ею как основанием для сооружений.

Все это заставляет выработать особые методы строительства в условиях вечной мерзлоты, направленные к использованию ее положительных свойств и сообразованные с ее особенностями и явлениями, в силу которых создаются условия, приводящие к деформации сооружений.

ОСТ 90032—39, в зависимости от местных геологических, гидрогеологических, климатических и мерзлотных условий данного участка, а также в зависимости от характера площади застройки, температурного режима сооружений и их конструкции, рекомендуют два метода строительства, или, как сказано в ОСТ, два метода устройства оснований.

1. Первый метод — строительство при с о х р а н е н и и слоя вечной мерзлоты в основании сооружения, или так называемый м е т о д А.

2. Второй метод — строительство, допускающее н а р у ш е н и е мерзлого состояния грунтов основания, но требующее приспособления конструкции сооружения к осадкам при оттаивании. Это м е т о д Б, или конструктивный метод.

Целесообразность первого метода не оставляет никаких сомнений во всех тех случаях, когда можно гарантировать сохранение мерзлого состояния грунта. Этот метод применим преимущественно

в северных районах распространения вечной мерзлоты, но может оказаться целесообразным и в южных, так как например на ст. Сковородино имеется несколько деревянных зданий, где удалось не только сохранить вечную мерзлоту, но и заставить ее подняться. Метод строительства с сохранением вечной мерзлоты приемлем для всех зданий, кроме горячих цехов, котельных помещений и других зданий с большим тепловыделением, при мощном слое и устойчивом режиме вечной мерзлоты и при температуре грунта на уровне проектируемого заложения подошвы фундамента не выше — 0,5° С, при условии устройства так называемого проветриваемого подполья.

Здания с большим тепловыделением теоретически тоже можно выстроить, сохранив слой вечной мерзлоты, но практически это будет сложно и дорого, так как для этих зданий пришлось бы запроектировать проветриваемое подполье, чрезвычайно осложняющее конструкцию здания, и кроме того принять ряд дополнительных мер термоизоляционного характера. Устройство проветриваемого подполья ставит значительные ограничения для строительства по методу сохранения вечной мерзлоты, однако, наличие подполья неизбежно для обычного строительства.

В главе II было выяснено, что протаивание мерзлоты в основании сооружения происходит вследствие прогревания ее теплоотдачей фундаментов и всей массы постройки через пол, причем последнее может иметь гораздо большее значение, чем первое. Действительно поток теплоты, проникающий в грунт, особенно если пол здания устроен прямо на земле, должен достигать больших размеров и не погашается непосредственно атмосферным холодом ибо грунт под зданием защищает сама постройка. Видимо при этих условиях тепло способно проникнуть в грунт довольно глубоко.

По данным инж. В. А. Бялыницкого, одно ступенчатое железнодорожное депо выделяет в грунт в одной ступени в сутки 2 700 000 *ккал* или 130 *кал/м*² площади пола. Оттаивание мерзлоты под этим зданием достигло 10 *м*. Как справедливо замечает инж. В. А. Бялыницкий, никакое устройство шлаковых, торфяных и других теплоизоляционных подушек здесь помочь не может, так как любая изоляция только задержит скорость протаивания, но не уменьшит его размеры.

Совершенно иначе обстояло бы дело, если бы теплоту, выделяемую полом, можно было удалить из-под пола, не допустив ее в почву. Это как раз и достигается устройством проветриваемого подполья. Наличие подполья в зимнее время позволяет иметь под полом здания температуру, мало отличающуюся от температуры наружного воздуха. В летнее время в подполье будет положительная температура, но все же ниже наружной. В таком случае в почву под зданием будет поступать меньше тепла и почти столько же холода; в результате верхняя граница вечной мерзлоты может подняться, как это и произошло в целом ряде построек на ст. Сковородино и в других местах.

Возможно и другое решение вопроса, заключающееся в искусственном поддержании мерзлоты при помощи специальных хо

дильных установок. Но этот вопрос пока не разработан ни технически, ни экономически, хотя в некоторых случаях применение холодильной техники представляется вполне уместным.

Было бы очень полезно и своевременно, если бы проектные организации занялись этими вопросами и установили практические возможности в этом направлении. Особенно большой интерес представляют мысли и предложения, высказанные М. И. Сумгиным, М. М. Крыловым и Н. Г. Трупаком.[1]

Понятие «мощный слой», при котором считается уместным применение рассматриваемого первого метода строительства, вообще не очень определенно. Но все же ориентировочно под этим можно подразумевать слой вечной мерзлоты в общем случае не менее 8—10 *м*, а для больших сооружений около 15—20 *м*, исходя из соображений о глубине заложения фундаментов в слой мерзлоты и о возможности протаивания этого слоя сверху после освоения района.

Предел отрицательной температуры слоя мерзлоты не выше –0,5°, указанный ранее, конечно, относителен и не имеет какого-либо теоретического обоснования; однако можно заметить, что при более высоких температурах вероятны относительно большие пластические деформации даже мерзлого основания, а сама вечная мерзлота не представляется надежной и способна легко протаять.

Несмотря на то, что метод строительства с сохранением мерзлоты рекомендован ОСТ и несмотря на предыдущие рассуждения, нельзя не отметить, что этот метод практически проверен в течение более или менее длительного срока только для небольших деревянных зданий. Поведение и безопасность крупных каменных сооружений с проветриваемыми подпольями на практике еще не совсем установлены, хотя теоретически все говорит за то, что такое решение весьма целесообразно.

Второй метод вероятно может быть применен в редких случаях, при очень малых осадках и особой конструкции зданий, ибо по § 26 того же ОСТ 90032—39 он должен применяться «для сооружений, которые по своей конструкции могут безболезненно переносить неравномерности осадок, могущих иметь место в силу неодинакового оттаивания грунтов под различными частями сооружений».

Большинство обыкновенных кирпичных зданий неспособно противостоять большим осадкам, и для придания им этой способности требуют специальных дорогих устройств. Некоторые попытки, сделанные в этом направлении, обошлись дорого и не привели к желанным результатам. Каркасные здания также едва ли могут быть приспособлены к осадкам, за исключением сооружений с металлическим каркасом, и тех случаев, когда возможно устроить регулирование расположения колонн по высоте, тоже далеко не простое и не дешевое. Кроме того регулирование положения элементов каркаса возможно в определенных, сравнительно

[1] Н. Г. Трупак, Аккумуляция естественного холода для замораживания грунтов, Строительная промышленность, № 6, 1939.

небольших пределах, а при оттаивании грунта осадки по большей части бывают весьма значительны.

Несмотря на то, что формы таких сооружений пока не выработаны и не были испытаны на практике, необходимо теоретически считать возможным осуществление подобных построек. В пользу этого говорит то обстоятельство, правда для иных условий, но сходных с данными в смысле возможности ожидать больших осадок, что для лессовидных грунтов были запроектированы и осуществлены здания, приспособленные к значительным осадкам.[1]

Таким образом, второй метод строительства, скорее теоретический, чем практический, очевидно найдет сравнительно ограниченное употребление. Удачных практических примеров применения этого способа можно сказать нет, даже для небольших сооружений, если не считать некоторых зданий на городках, от которых теперь большинство строителей отказывается из-за неопределенности их устойчивости.

Рекомендовать этот способ для более или менее ответственного сооружения затруднительно. Предпочтительнее избегать устройств этого рода, за исключением случаев, когда грунты не переувлажнены, во всяком случае влажность их составляет не более 30% по весу, и они представляют собой крупный песок, гравий или гальку. При глинистых, иловатых или пылеватых грунтах этот способ не может быть рекомендован, если только особым исследованием грунтов, испытанием их и расчетом не будет доказана такая незначительность осадок, при которой в конструкции не могут возникнуть заметные перенапряжения. Такой случай возможен лишь при очень небольшой влажности упомянутых грунтов.

Примером возможности строительства этим методом при песчанистом маловлажном грунте является постройка одной электростанции. В 1930 г. было выстроено здание котельной; исследования и испытания показали, что в месте постройки котельной на глубине около 5 *м* залегает слой мерзлого песка с хорошими строительными качествами. Поэтому фундаменты были устроены в виде столбов, опертых на сплошную железобетонную плиту толщиной в 35 *см*, уложенную на тонкий слой трамбованной гальки. Плита сверху была засыпана плотно утрамбованным суглинком и слоем песка. Здание до 1938 г. не имело деформаций. Правда, не известно, оттаяло ли мерзлое основание; теоретически следует предполагать, что оттаивание произошло.

Хотя в ОСТ ничего не сказано о возможности строительства еще одним способом (его можно назвать третьим), полезно упомянуть здесь о нем.

Этот третий способ заключается в строительстве с предшествующим строительству насильственным уничтожением всего слоя вечной мерзлоты или части его. Он подразумевает такое ук-

---

[1] Б. Д. Васильев, Основания и фундаменты, Госстройиздат, 19.. стр. 513.

ничтожение мерзлоты, при котором можно будет вести строительство, как на обыкновенном талом грунте.

Нет сомнения в том, что этот способ, впрочем как и предыдущие, осуществим только при определенном сочетании благоприятных обстоятельств. Нельзя не отметить, что практически его не применяли как способ обдуманный и заранее назначенный. Однако ряд косвенных указаний об этом способе имеется, а теоретически он вполне возможен и даже целесообразен.

Строительство с уничтожением вечной мерзлоты может быть технически целесообразно и экономически выгодно в тех случаях, когда температура слоя вечной мерзлоты близка к 0°, а также при слоистой мерзлоте, со слоями малой мощности, при гнездовой мерзлоте и при обязательном условии возможности удаления из грунта излишней влаги.

В одних случаях уничтожение мерзлоты будет достигнуто предшествующим строительству протаиванием ее солнечным теплом путем уничтожения поверхностного покрова и, следовательно, оголения почвы, а также путем мелиорации и дренажа. В других случаях уничтожение мерзлоты осуществимо прогревом ее паровыми иглами с обязательным последующим удалением из протаянного слоя воды, как содержавшейся в нем раньше, так и внесенной пропариванием.

Возведение сооружения мыслится после того как протаивание произойдет на необходимую глубину, грунт осядет, а вода уйдет или будет удалена из почвы.

Этот способ едва ли окажется возможным при глинистых, иловатых или пылеватых грунтах, находящихся в переувлажненном состоянии и плохо отдающих воду.

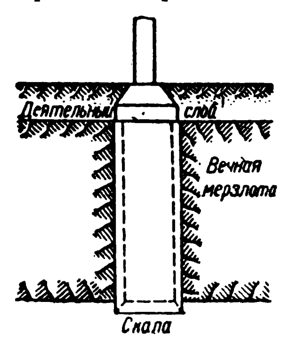
Совершенно особо следует выделить некоторые случаи, когда строительство можно будет вести игнорируя наличие слоя вечной мерзлоты в отношении устройства фундаментов. Например тогда, когда на некоторой глубине от дневной поверхности (8—12 *м*) залегает, хотя бы и мерзлая, прочная коренная порода — скала или даже, при небольшой мощности мерзлоты, просто хороший талый грунт, допускающий значительную нагрузку. В подобных условиях для ответственных зданий рационально избегать мелкого заложения фундаментов на мерзлом грунте и использовать в качестве основания нижележащую скалу или талый слой, возведя фундаменты на опускных колодцах. Заглубление последних производится при помощи паровой иглы. Схема такого устройства приведена на фиг. 71.

Это предложение практически реализовано в одном проекте. По данным инж. В. А. Бялыницкого, условия постройки были такие. По плану здание располагается на пойме реки. Участок представляет собой марь с редким кустарником. Геологический разрез следующий: сверху растительный слой 20—30 *см*, затем слой толщиной 1,15—1,50 *см* переувлажненного пылеватого, мелкого, желтого песка с кристаллами льда, ниже слой песка разнозернистого, льдонасыщенного с небольшим количеством гальки, мощностью 5,0—5,5 *м*; еще ниже, на глубине 7—7,5 *м* от поверхности земли залегают рогово-обманковые, сильно трещиноватые скальные породы. На всей

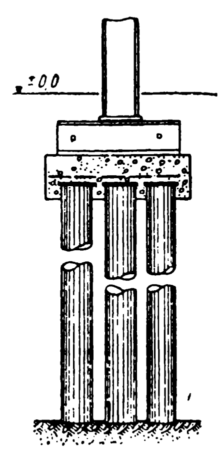
площадке производится подсыпка; в месте постройки здания подсыпка имеет толщину 1,5 *м*. Основанием для фундаментов выбрана скала. Фундаменты устроены в виде опускных колодцев. Предполагается, что опускание колодцев будет происходить посредством пропаривания слоя вечной мерзлоты паровой иглой с последующим удалением протаянного жидкого грунта землесосом.

Для аналогичных условий весьма уместно устройство фундаментов на сваях, опущенных до скалы (фиг. 72). Это стоит гораздо дешевле, чем опускные колодцы. Сваи можно делать из дерева, железобетона или металла, в зависимости от местных условий.

Особенно следует рекомендовать применение металлических трубчатых свай, имеющих большое распространение в Америке, для случаев, подобных рассматриваемому, т. е. когда свая должна пройти непригодный слой слабого грунта и опереться на скалу. Эти сваи представляют собой полые стальные трубы с открытыми концами, забиваемые до скалы. Грунт из трубы удаляется вымыванием водой или сжатым воздухом,[1] затем свая заполняется бетоном. Диаметр свай назначается от 25 до 50 *см*. Толщина листа стального цилиндра сваи 7—15 *мм*. Наибольшая возможная длина сваи около 30 *м*. Ствол сваи составляется из отдельных стандартных кусков труб длиной в 7 *м*.



Фиг. 71. Фундамент под колонну, устроенный из опускном колодце.



Фиг. 72. Фундамент на металлических сваях.

Стальные трубчатые сваи, заполненные бетоном, имеют высокую несущую способность. По американским нормам наибольшая нагрузка на сваю может быть доведена до 124 *т* при опирании ее на скалу.

Забивка свай при помощи свайного молота на постройке здания в Америке изображена на фиг. 73. Здесь же на самом переднем плане и сзади куста свай видны приготовленные для забивки другие цилиндрические сваи.

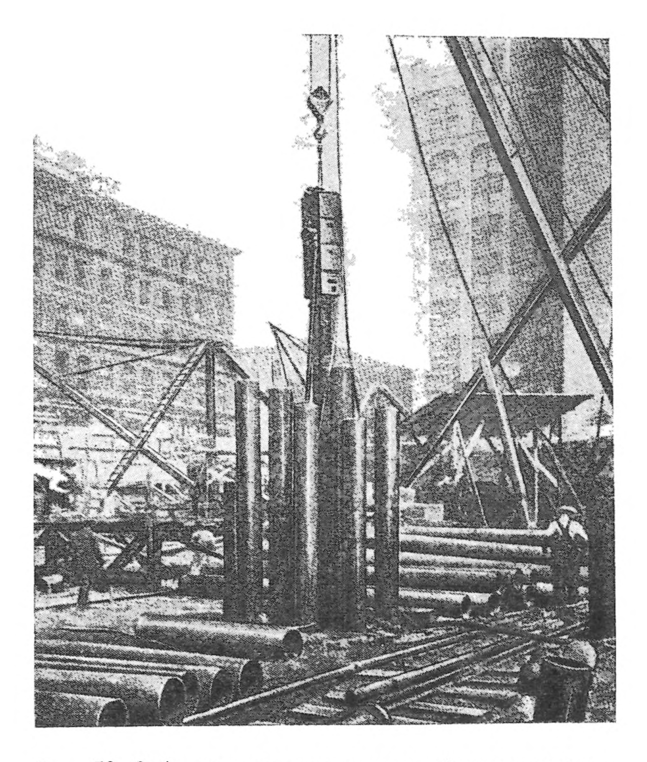
Интересно указать, что существует мост с отверстием в 120 *м*, разделенным на 10 пролетов, с опорами на металлических трубах $d = 20$ *см*, заполненных внутри бетоном. Сваи забиты в грунт ложа реки до скалы.

---

[1] Вопрос об удалении грунта из свай посредством сжатого воздуха разработан инж. Н. А. Изнаирским в его диссертационной работе: Новая система безоболочковых свай, изготавливаемых в грунте, и ее физико-механическое обоснование, Ленинградский автодорожный институт, 1938.

В главе II были установлены две главнейшие причины дефор-ций разных сооружений: 1) протаивание слоя вечной мерзлоты основании сооружения и 2) пучение деятельного слоя. Все рас-отренные методы строительства были созданы для борьбы первой причиной деформаций сооружений — протаиванием, и пучению собственно отношения не имеют.

Поэтому при ведении работ любым методом необходимо итаться с пучением грунтов деятельного слоя и обязательно инимать соответствующие меры во избежание деформаций вслед-вие пучения. Этим мероприятиям в дальнейшем посвящен особый здел § 13.



Фиг. 73. Забивка металлических свай американским паровым молотом.

Возможность и рациональность применения того или дру-го метода строительства должна быть установлена в каждом нкретном случае после тщательных исследований строительной ющадки, в соответствии с местными мерзлотными условиями, зависимости от характера сооружения и после надлежащего ана-іза всех связанных с этим вопросом экономических и технических юбражений.

По вопросу о методах строительства в ОСТ 90032—39 приве-ны следующие указания.

V. Основные принципы устройства оснований и фундаментов

§ 21. При проектировании оснований следует учитывать изменения в грунтовых условиях и в режиме вечной мерзлоты, которые происходят в процессе освоения и эксплоатации участка и вызывают обычно понижение верхней границы вечной мерзлоты.

При этом необходимо учитывать влияние на температуру грунтов не только самих сооружений, но и других подземных и надземных устройств (водопровод, канализация, уничтожение растительности и снегового покрова, планировка, устройство канав, водоотводов и т. п.).

§ 22. В зависимости от геологических, гидрогеологических, климатических и мерзлотных условий участка, а также от характера площадки застройки, температурного режима сооружений и их конструкций может быть применен один из следующих методов устройства оснований:

метод «А» — сохранение вечномерзлого состояния грунтов основания;

метод «Б» — допускающий нарушение мерзлого состояния грунтов основания с приспособлением конструкций сооружений к осадкам при оттаивании (конструктивный метод).

§ 23. Если мощность вечной мерзлоты значительна, мерзлота залегает сплошным слоем и имеет низкую температуру, а сооружение не выделяет большого количества тепла, то можно предполагать сохранение режима мерзлоты, и в этом случае сооружения могут проектироваться, исходя из метода «А» (§ 22). При цехах, выделяющих много тепла, применение метода «А» требует специальных мероприятий по сохранению мерзлоты.

§ 24. При наличии вечной мерзлоты незначительной мощности, островной или слоистой, с температурой, близкой к 0°, сохранение вечной мерзлоты под обогреваемым сооружением представляется затруднительным. В этом случае проектируют сооружение в предположении постепенного оттаивания под ним вечной мерзлоты с учетом неравномерных осадок фундаментов (метод «Б», § 22).

§ 25. При возведении сооружений по методу «А» (§ 22) рекомендуются следующие мероприятия:

а) устраивать проветриваемые зимой и закрываемые на лето подполья с соответствующим утеплением подпольного перекрытия и антисептированием деревянных частей; высота подполья устанавливается не менее 0,5 *м* и в ответственных случаях проверяется теплотехническим расчетом;

б) устраивать фундаменты в виде заглубленных в вечную мерзлоту отдельных опор (столбов, стульев и т. п.) с минимальным сечением, соответственно конструктивным условиям и расчету;

в) применять для фундаментов по возможности материалы наименее теплопроводные и устраивать теплоизоляционную прокладку в них с целью уменьшения проникновения тепла к основанию;

г) покрывать поверхность земли под сооружением и вокруг него защитным слоем из нетеплопроводных материалов (гарь, шлаки, торф и т. п.) с принятием мер к отводу поверхностных вод от сооружений путем устройства отмосток и отводных лотков;

д) подземные трубы паропровода, канализации, водопровода и т. п. при проходе их вблизи сооружения должны быть теплоизолированы с учетом влияния на режим мерзлоты под сооружением;

е) производственные и хозяйственные воды следует удалять от зданий, предотвращая возможность попадания их в грунт около фундаментов;

ж) производить работы по рытью котлованов рекомендуется преимущественно в условиях температуры окружающей среды ниже 0° с тем, чтобы заложение фундамента производилось непосредственно на неоттаявший грунт; при этом предпочтение следует отдавать сборным фундаментам, заготовляемым заранее.

§ 26. Метод «Б» (§ 22) применяется для сооружений, которые по своей конструкции могут безболезненно переносить неравномерности осадок, могущие иметь место в силу неодинакового оттаивания грунтов под различными частями сооружений. Величина возможных осадок устанавливается на основании исследований свойств вечномерзлых грунтов основания, проводимых согласно указаниям разделов III и IV.

§ 27. При методе «Б» (§ 22) для более равномерного оттаивания вечной мерзлоты под отдельными частями сооружений процесс оттаивания должен бы

возможности замедлен путем осуществления отдельных мероприятий, ука-ных в § 25.

§ 28. Снижение неравномерности осадок может быть достигнуто различными приятиями, как например: устройством под фундаментами песчаных поду-, устройством фундаментов с ростверками или со сплошными бетонными железобетонными плитами, устройством свай и т. п.

§ 29. С целью уменьшения влияний неравномерных осадок на сооружения есообразно применять конструкции, допускающие регулирование их по вы-путем подъема просевших частей и т. п.

§ 30. Метод «Б» (§ 22) следует применять при грунтах, не имеющих ле-ых прослойков и линз.

При наличии ледяных прослойков и линз применение этого метода допу-о лишь в крайнем случае для сооружений, могущих переносить значитель-(на несколько десятков сантиметров) неравномерность осадок.

§ 31. При производстве бетонных работ на месте между мерзлотой и укла-аемым бетоном необходимо делать теплоизоляционную прослойку.

УКАЗАНИЯ И СООБРАЖЕНИЯ ОБ УСТОЙЧИВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ

1. Общие указания и соображения

Обращаясь к вопросам устойчивого строительства зданий в овиях вечной мерзлоты, следует еще раз напомнить, что такое оительство возможно лишь в результате комплекса мероприя-, включающих: 1) тщательное исследование и изучение мест-с условий в соответствии с данным объектом; 2) правильный бор места для сооружения; 3) правильный выбор теплотехниче-х мероприятий и 4) рациональное назначение устройства и кон-укций сооружения.

Следует стремиться строить в таких местах, где вечная ізлота отсутствует или залегает настолько глубоко, что можно ладывать фундаменты сооружения не считаясь с ней. Во всех чаях, когда слой мерзлоты подстилается скалой, следует попы-ься опереть фундаменты на скалу (хотя бы и мерзлую), а если ледней нет, то искать места, где под слоем мерзлоты располо-ны хорошие талые грунты с большими допускаемыми напряже-ими.

К строительству зданий на слое вечной мерзлоты надо пере-ить только тогда, когда нет иного выхода. Но и при этом же-ельно искать участки с маловлажными песчанистыми, гравели-ыми или галечными грунтами. Постройка зданий на переувлаж-ных мелкопесчанистых и особенно на глинистых, иловатых или леватых грунтах нежелательна и допустима только при полной возможности избежать этого.

При хороших маловлажных мерзлых грунтах, не склонных большим осадкам при протаивании, целесообразно строить по рому, т. е. по конструктивному методу, а при плохих глини-ых, илистых и пылеватых — по первому методу, т. е. принимая меры к сохранению слоя вечной мерзлоты.

При любых грунтах необходимо предусматривать устройства и роприятия, обеспечивающие сооружение от выпучивания его ндаментов силами, развивающимися в результате пучения дея-льного слоя и вследствие смерзания последнего с опорами кон-рукции.

2. Строительство зданий с сохранением слоя вечной мерзлоты

К строительству по методу сохранения слоя вечной мерзло[т] следует приступать после того как, с одной стороны, будет ус[та]новлена неизбежность этого, а с другой, соответствующими и[с]следованиями будет доказана возможность сохранить мерзло[ту] в основании сооружения. Независимо от сооружения и его ра[з]меров, в меру возможного и практически целесообразного, п[ри] этом методе рекомендуется придерживаться следующих общ[их] указаний и требований.

А. Общие указания

1. Во время строительства и при последующей эксплоатаци[и] построенных зданий необходимо наименьшим образом наруша[ть] естественное существование местности.

2. Здания желательно располагать длинной стороной по на[]правлению меридиана.

3. Местность, прилегающую непосредственно к южным стена[м] здания, полезно затенять растительностью, навесом или забора[ми].

4. Чрезвычайно важно принимать меры для быстрого удалени[я] кратчайшим путем поверхностных вод с местности, примыкающе[й] к зданиям, в особенности воды, стекающей с крыш зданий, и н[е] допускать проникания ее в грунт.

5. Абсолютно нельзя допускать проникновения в грунт произ[]водственной воды. Отвод последней должен быть сделан тща[]тельно и не при помощи трубопроводов, уложенных непосред[]ственно в грунте.

Б. Общие требования к устройству зданий и их отдельных частей

1. Разного рода резервуары, баки, колодцы и выгребные ям[ы] для канализационных устройств и для других надобностей, осо[]бенно для теплых производственных вод, должны быть располо[]жены возможно дальше от зданий и во всяком случае не ближ[е] чем на расстоянии 15—20 *м*.

2. Фундаменты зданий следует проектировать в виде отдель[]ных опор возможно меньшего поперечного сечения.

3. Фундаменты надлежит заглублять в слой вечной мерзлоты не менее чем на 1,0—1,5 *м*, в зависимости от типа сооружени[я].

4. Под фундаменты следует укладывать деревянные брусчаты[е] ростверки из двух рядов брусьев.

5. Под зданиями надлежит устраивать по соответствующе[му] расчету проветриваемые подполья высотой не менее 0,5 *м*.

6. Подполья необходимо тщательно изолировать от внутре[н]них помещений здания при помощи пола специального устро[й]ства, не пропускающего больше тепла из внутренних помещени[й] здания, чем это допустимо при данном устройстве подполья.

7. Необходимо устроить приспособления, позволяющие плот[но] закрывать подполье на теплое время года.

8. Вокруг здания и под ним полезно применять тепловую из[о]ляцию на поверхности грунта из торфа, шлака и т. п., но пр[и]

условии полной защиты этой изоляции от воды; для этого желательно располагать здания не на естественной поверхности земли, а на невысокой подсыпке из хорошо дренирующего грунта или шлака.

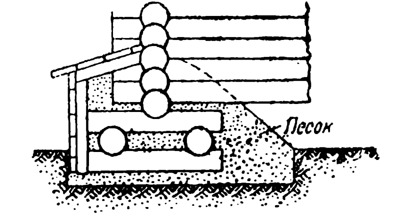
9. Устройства подвалов допускать не следует, за исключением случаев неотапливаемых зданий.

В. Устройство зданий

По теплотехническому признаку все здания можно подразделить на следующие категории: 1) неотапливаемые здания; 2) обычные отапливаемые здания; 3) здания, выделяющие большое количество тепла.

В зависимости от материала, можно различать деревянные и каменные постройки.

К неотапливаемым зданиям относятся, по преимуществу, разного рода складские помещения вроде пакгаузов, складов, сараев и пр.



Фиг. 74. Деревянное здание на городках.

Для не очень больших деревянных неотапливаемых зданий второстепенного назначения возможно допустить применение городков (фиг. 74). Для устройства здания на городках желательно выбрать все-таки относительно маловлажный участок. В местах, где будут уложены городки, надо снять верхний моховой и растительный слой почвы, затем подсыпать слой песка, гравия или шлака, а на него уложить короткие бревна, служащие опорами срубу и носящие название городков. Городки располагаются под углами здания, а также в промежуточных точках. Длина деревянного сруба не должна быть большой. Сруб необходимо вязать с особой тщательностью и ставить вертикальные сжимы из пластин или брусков.

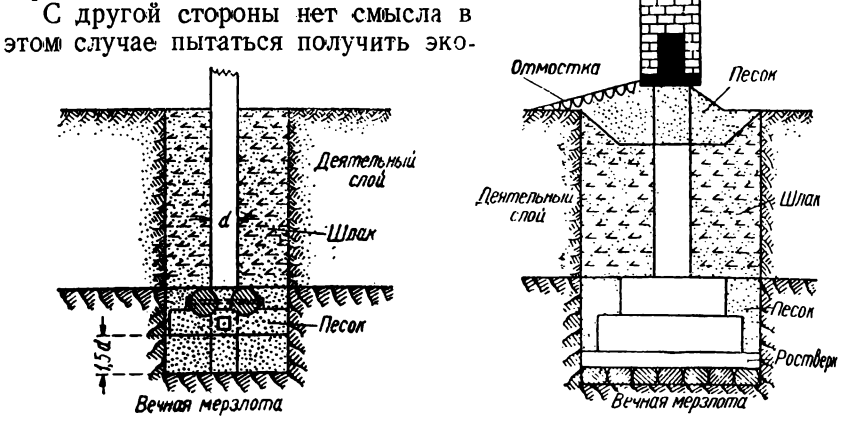
Многие инженеры рекомендуют выбирать под городками местный грунт на глубину до 50—70 *см* и заменять его лучше всего шлаком, а если его нет, то песком, но не гравием или галькой. Нижний ряд городков необходимо обильно и тщательно просмолить.

Более ответственные неотапливаемые деревянные здания правильнее строить на столбчатых фундаментах, опертых на слой вечной мерзлоты.

Столбчатые фундаменты могут быть деревянные, каменные или железобетонные. Для деревянных зданий лучше всего применять деревянные столбы. Так как по большей части придется иметь дело с пучением опор вследствие промерзания деятельного слоя, то конструкция столбчатых фундаментов должна хорошо противодействовать выпучиванию; это необходимо учитывать при назначении конструкции столбов в соответствии с указаниями, приведенными далее при рассмотрении конструкции фундаментов.

При неотапливаемом здании можно ожидать очень неболы изменений верхней границы мерзлого слоя, а тем более в с чае устройства фундаментов в виде нетеплопроводных дерев ных столбов. Однако все же изменение этой границы вероят ибо при застройке площади и освоении местности мерзлота отс пает вглубь. Поэтому фундаменты должны быть углубле в слой вечной мерзлоты, верхняя граница которой к тому же роятно будет определена ограниченным по времени исследо нием, в большинстве случаев в течение не более чем одного-д лет, тогда как окончательное протаивание происходит в тече нескольких (3—5) лет (§ 6, п. 1). Очевидно, что такие крат временные исследования дают весьма приближенное представ ние о положении верхней границы мерзлоты.

С другой стороны нет смысла в этом случае пытаться получить эко-



Фиг. 75. Анкеровка деревянной стойки.

Фиг. 76. Анкеровка железобетонной колонны.

номию, ибо заложение столбов на 40—60 *см* выше или ни составит незначительную долю стоимости постройки, а меж тем недостаточное заглубление фундамента может поставить п следнюю под угрозу деформаций. Например для здания 12 × 12 при столбах через 4 *м*, при увеличении заглубления опор на 0,5 потребуется выбрать лишних 6 $м^3$ грунта.

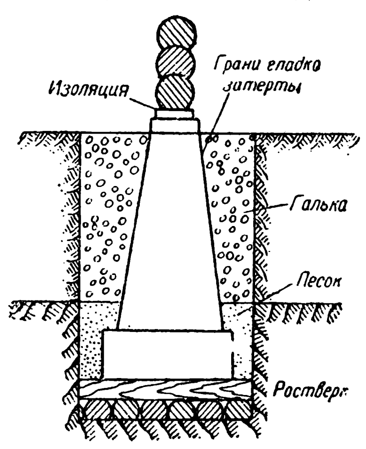
На этом основании и принимая во внимание пучение деятел ного слоя, заглублять столбы в мерзлоту следует не менее че на 1,5—2,0 *м*, в зависимости от характера и от мощности деятел ного слоя. Устройство деревянного столбчатого фундамента пр водится на фиг. 75.

При таком устройстве столбчатой опоры нельзя сделать боле или менее правильный расчет заглубления анкера, даже ес (в общем произвольно) принять определенное окончательное пол жение верхней границы слоя вечной мерзлоты. Можно тольк найдя выпучивающее усилие по формуле (2), рассчитать коротыш являющиеся анкерами, как консоли на изгиб. Врубки тоже необ ходимо рассчитать.

Котлован, отрытый для установки опоры, в пределах слоя ной мерзлоты следует заполнить мокрым песком или вынутым нтом, а в пределах деятельного слоя — сухим песком, гравием шлаком. Так как при таком устройстве выпучиванию сопроляется смерзание нижней части конструкции с мерзлотой, при- і для этого требуется, чтобы в выбранном слое грунта восновилась мерзлота, рекомендуется проморозить нижнюю заіку. Для этого постройку нужно вести осенью или зимой. До ›мораживания нижней части котлована верхнюю часть, т. е. ть в пределах деятельного слоя, засыпать не надо.

Если для деревянного здания применяются каменные или же- ›обетонные столбы, то они устраиваются так, как сказано далее я каменных зданий.

Железобетонный столбчатый фун- мент изображен на фиг. 76. Он со- ›ит из простого ступенчатого башка и железобетонной стойки. По ›йкам уложена рандбалка, на кото- й на гидроизоляции выведена стена. шмак расположен на ростверке из ух рядов деревянных лежней. Под ндбалкой грунт надо выбрать и за- нить сухим песком, гравием или лаком. Снаружи до верха рандбалки обходимо уложить подушку из гли- ы или суглинка, сверху замостив ее амнем. Котлован для опоры запол- яется так же, как и для деревян- ой стойки; при этом следует позабо- иться о восстановлении мерзлоты в ижней части засыпки, в которой тойка заанкерена. Глубина заложения фундамента в слой вечной ерзлоты 1,5—2 *м*.



Фиг. 77. Бутовый столбчатый фундамент.

Анкеровка стоек в слой вечной мерзлоты была предложена авно.[1] Целесообразность заделки косвенно подтверждается на- людениями инж. Н. И. Быкова на Сковородинской опытной танции. Было установлено, что столбы, заделанные в слой веч- ной мерзлоты на 2 *м* и более, в условиях Сковородино не пучит.

При условии, что грунты деятельного слоя мало влажны и учения быть не может, можно устраивать столбы из бутовой ладки (фиг. 77). В других случаях столбы из бутовой кладки не ддятся, так как они не могут работать на растяжение, возникаю- е в них при пучении деятельного слоя. Исключение составляет лучай, когда нагрузка на бутовый фундамент так велика, что вы- учивающее усилие не может преодолеть ее.

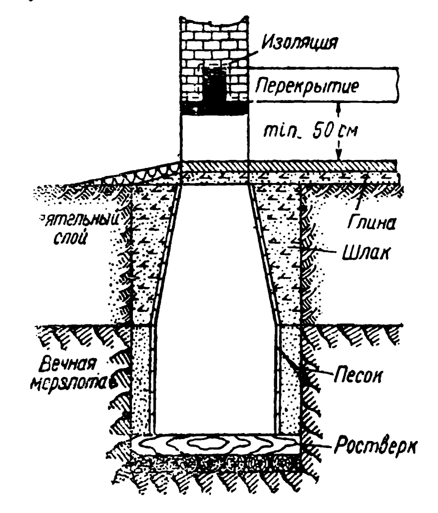
Столбы из бутовой кладки, даже при малой влажности грун- та, рекомендуется делать, как показано на фиг. 77, с наклонными анями.

---

[1] К. Д. Морозов, Проектирование и сооружение мостов в условиях веч- мерзлоты, Трансжелдориздат, 1936, стр. 122.

Очень удобными могут оказаться армированные бутобетонные столбы, так как благодаря наличию арматуры они способны работать на растяжение. Арматуру надо ставить по контуру фундамента. Под каменный и бутобетонный фундаменты необходимо делать ростверк из лежней в два ряда общей высотой в 30—40 см. Грани фундаментов желательно устраивать наклонными под углом 70—80° и гладко затирать.

При бутобетонных и бутовых столбчатых фундаментах каменные стены возводятся на железобетонных рандбалках, деревянные же стены укладываются прямо на фундаменты. Стены следует изолировать от фундаментов 4—5 слоями толя или рубероида на клебемассе или смоле.



Фиг. 78. Отапливаемое здание на бутобетонном фундаменте.

Фундаменты обычных отапливаемых зданий могут быть устроены подобно описанным выше фундаментам для неотапливаемых зданий, но непременно при проветриваемом подполье, а также с некоторыми дополнениями. Назначение подполья состоит в том, чтобы препятствовать проникновению тепла в грунт и способствовать промерзанию почвы под зданием в зимнее время, в целях восстановления слоя мерзлоты, протаивающей летом. Проветриваемое подполье должно иметь высоту, определенную расчетом, и быть не меньше 50 см.

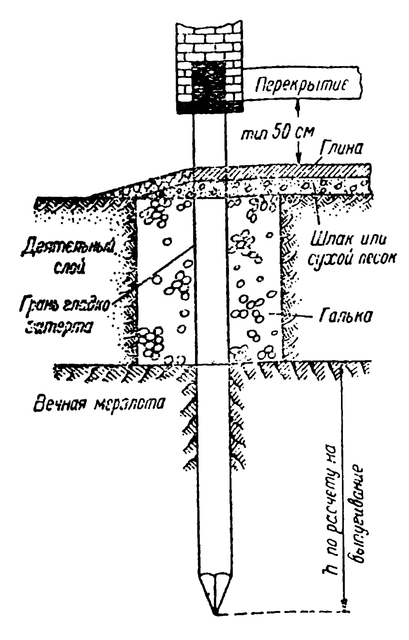
Принятую высоту подполья в свету h и термическое сопротивление перекрытия R необходимо проверить соответствующим теплотехническим расчетом, исходя из условия, чтобы все тепло, выделяемое полом здания, могло быть удалено естественной циркуляцией воздуха.

Для усиления вентиляции подполья целесообразно в средине здания сделать один или несколько вертикальных каналов, проходящих сквозь здание и сообщающихся с подпольем. На лето каналы и самое подполье желательно плотно закрывать двойными щитами.

Поверхность земли в подполье полезно засыпать слоем шлака, уплотненного мха, торфа или хвои толщиной в 20 см.

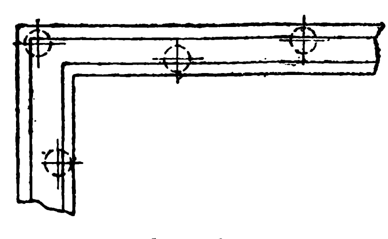
Устройство бутобетонного фундамента для отапливаемого здания с проветриваемым подпольем изображено на фиг. 78. Фундамент представляет собой бутобетонный столб, заглубленный в слой вечной мерзлоты на 2 м и опирающийся на ростверк из деревянных лежней общей высотой в 30—40 см. В нижней части, в пределах мерзлоты, столб сделан квадратным призматическим, а в верхней части, в пределах деятельного слоя, пирамидальным с наклонными гранями. По столбам уложены железобетонные

рандбалки, которые и поддерживают стену в 3 кирпича. Рандбалки отделены от столбов изоляцией из 5—6 слоев руберойда или толя. Поверхность земли в подполье покрыта слоем шлака, торфа или мха в 15—20 *см*; этот слой прикрыт 6—10-*см* слоем глины или суглинка. Опалубка для столба оставлена в грунте. Котлован в пределах слоя вечной мерзлоты засыпан мокрым мелким песком, а в пределах деятельного слоя — шлаком, гравием, галькой или крупным песком.



Фиг. 79. Свайная опора здания.

Весьма целесообразно для случаев сильно пучинистых грунтов устройство зданий на сваях, опущенных в слой вечной мерзлоты и смерзшихся с ним. Эта конструкция показана на фиг. 79. Сваи могут быть деревянные, железобетонные или металлические. Сваи несут железобетонную рандбалку, по которой уложена стена. Для большей устойчивости свайного основания сваи лучше забивать в шахматном порядке (фиг. 80).



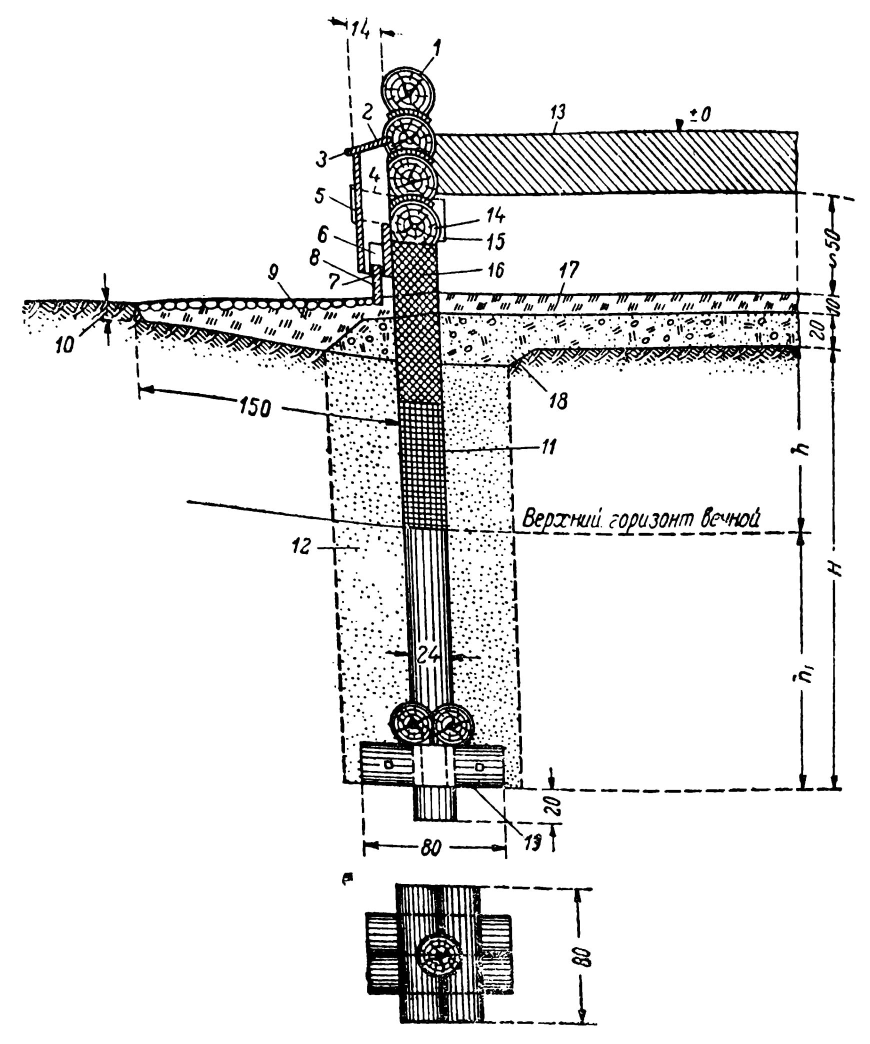
Фиг. 80.

Довольно рациональные проекты конструкции столбчатых опор для отапливаемых зданий составлены инж. В. А. Бялыницким для ряда зданий.

Конструкция, изображенная на фиг. 81, представляет собой деревянную опору для деревянного здания, а на фиг. 82 — железобетонную опору для каменного здания. В устройстве по фиг. 81 сомнительна польза обертывания деревянного столба толем с осмолкой; можно ограничиться только осмолкой. Железобетонная рандбалка на фиг. 82 должна быть мощнее и едва ли целесообразно устраивать ее такой плоской формы. Обшивка досками цоколя предназначена для уменьшения нагрева кладки стены. Лучше этого не делать, а применить изоляцию по рандбалке, которая, кстати, на чертеже отсутствует.

Как уже отмечалось выше, перекрытие над проветриваемым подпольем должно обладать известным термическим сопротивлением, ибо от этого зависит высота проветриваемого подполья.

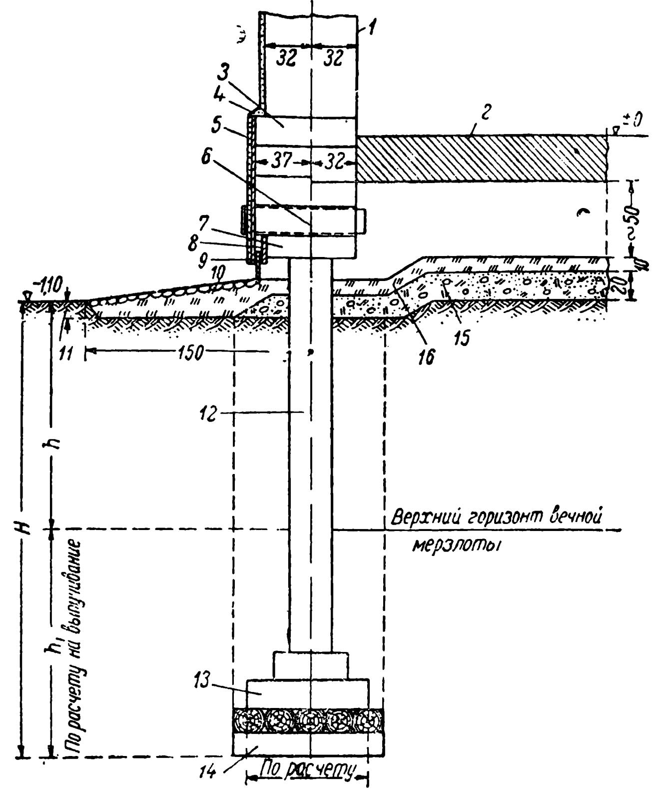
Следует заметить, что на перекрытие надлежит обратить особое внимание, ибо при ненадлежащем его устройстве, здание с проветриваемым подпольем зимой мало пригодно для жилья и для



Фиг. 81. Деревянный столбчатый фундамент; тип перекрытия выбирается в з висимости от назначения здания; нижние 3 венца, бруски цоколя и вруб стула в нижний венец антисептировать суперобмазкой (В. А. Бялыницкий).

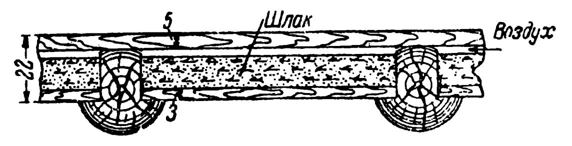
1 — наружная стена; *2* — сливная доска 25 *см*, антисептированная 3% водным раствором ф ристого натрия; *3* — обшивка в четверть 2,5 *см*; *4* — брусок 16×16 *см*, через 70 *см*, антисеп рован креозотовым маслом; *5* — продухи 20×30 *см*, через 1,5—2,0 *м*; *6* — воздушный зазор; *7* бруски, антисептированные креозотовым маслом; *8* — доска 5 × 20 *см*, антисептированная кр зотовым маслом; *9* — глина или жирный суглинок с втрамбованным сверху щебнем; *10* — г бина 10—20 *см*; *11* — обертка толем за 2 раза с осмолкой; *12* — засыпать вынутым грунто плотно утрамбовать; *13* — перекрытие; *14* — три венца обработать кругом экстрактной суп обмазкой; *15* — проложить креозотированный войлок в 2 слоя, поверх толь, обернув кра первый венец до половины высоты; *16* — бандажная обертка; *17* — плотно утрамбованный ж ный суглинок или глина; *18* — термоизоляционная подушка из уплотненного мха; *19* — анк

работы. По сообщению инж. Н. И. Быкова,[1] на Сковородинской станции перекрытие было устроено по фиг. 83. Оно имело черный пол из досок толщиной в 3 *см*, шлаковую засыпку в 14 *см* и чи-



Фиг. 82. Железобетонный столбчатый фундамент; тип перекрытия устанавливается в зависимости от назначения здания; необходимое заглубление фундамента в слой вечной мерзлоты определяется расчетом; площадь застройки следует дренировать (В. А. Бялыницкий).

1 — наружная стена; *2* — перекрытие; *3* — шлакобетонные камни; *4* — штукатурка 2,5 *см*; *5* — обшивка досками 2,5 *см*; *6* — продухи 20×30 *см* через 2,0—2,5 *см*; *7* — железобетонная рандбалка; *8* — доска 2,5 *см*; *9* — антисептированная доска 4 *см*; *10* — глина или жирный суглинок с втрамбованным сверху щебнем; *11* — в зависимости от толщины растительного слоя 10—20 *см*; *12* — железобетонная стойка, сечение по расчету; *13* — железобетонная подушка, сечение по расчету; *14* — термоизоляционная деревянная подушка из бревен $d = 16$ *см*; *15* — термоизоляционная подушка из уплотненного мха; *16* — плотно утрамбованный жирный суглинок или глина.

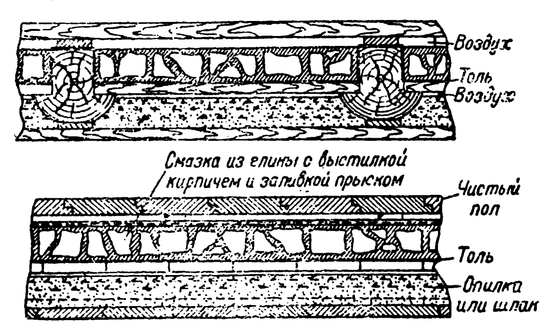


Фиг. 83. Непригодное деревянное перекрытие.

[1] Н. И. Быков, Из практики работы мерзлотной станции, Строительная промышленность, № 7—8, 1937, стр. 27.

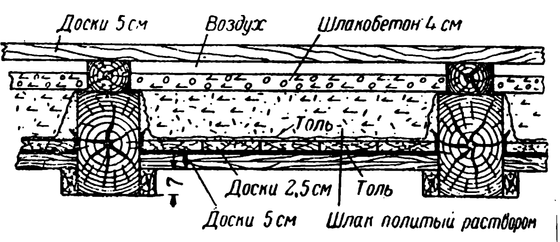
стый пол из досок в 5 *см*. В результате зимой на уровне пола в сильно натопленной комнате была температура 15° ниже нуля, на уровне столов около 2—4° ниже нуля, а у потолка 40° выше нуля.

На основании сковородинского опыта и опыта заполярного строительства в Игарке, инж. Н. И. Быков считает рациональной конструкцией деревянного перекрытия приведенную на фиг. 84. Существенное замечание, высказанное по поводу этой конструкции, заключается в указании на легкое загнивание промежуточного деревянного настила и деревянных балок.



Фиг. 84. Деревянное перекрытие по Н. И. Быкову.

Целесообразное устройство деревянного перекрытия дано на фиг. 85. Черный пол в этом случае состоит из двух рядов досок. Нижний ряд из досок толщиной в 5 *см* несущий, верхний — из досок в 2,5—3 *см* — уложен под углом в 45° по отношению к нижнему. Доски для плотности следует взять шпунтованные и промазать швы в обоих настилах смолой. Между рядами досок проложен слой толя на горячей смоле или клебемассе. Сверху доски прикрыты толевой изоляцией тоже на смоле и затем насыпан шлак слоем около 15 *см*. Можно вместо шлака уложить мох или опилки, смешанные с раствором и песком. Шлаковая засыпка полита раствором, чтобы шлак не был в сыпучем состоянии, а представлял собой монолит. Лучше для этого применять тощий шлакобетон. Сверху шлакового слоя устроена смазка из тощего шлакобетона в 2—3 *см*. При засыпке из торфа или мха поверх ее можно уложить импрегнированную глину. Чистый пол сделан из досок 5—6 *см*, хорошо сплоченных, тщательно прошпаклеванных и окрашенных.



Фиг. 85. Деревянное перекрытие.

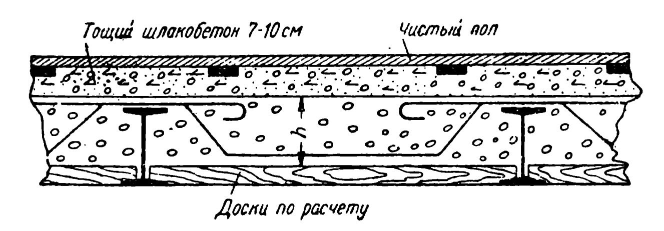
Одним из основных качеств перекрытия должна быть высокая воздухонепроницаемость пола. В этом отношении хороших результатов можно ожидать от описанной конструкции.

Отепление или так называемую смазку по черному полу следует делать из плотной массы — шлакобетона, гаребетона, опилочного бетона и т. д., но не рассыпчатого материала, каким являются сухой шлак, торфяная мелочь или опилки. Хорошими теплоизолирующими материалами для перекрытий могут быть камышит,

ломит, фибролит и другие плиточные материалы, укладываемые по одному-двум слоям толя не менее чем в два ряда с перекрытием швов.

Если для полов предполагается применить железные балки, то перекрытие следует везде, где это окажется удобным, делать из армированного шлакобетона (фиг. 86).[1] Шлакобетонная армированная плита перекрытия бетонируется на деревянной опалубке из досок 2,5—4 *см*, которая затем оставляется на месте. Состав шлакобетона (по американским данным) лучше всего брать из одной части цемента, двух частей песка и пяти частей шлака. В Америке армированные шлакобетонные плиты имеют широкое распространение и считаются весьма выгодной и удобной конструкцией.

В районах, где имеется глина, можно рекомендовать применение керамзитобетона. Сверх сплошной несущей плиты из шлако- или керамзитобетона укладывается теплоизоляционный слой из легкого бетона, например очень тощего шлакобетона, керамзитобетона и



Фиг. 86. Шлакобетонное перекрытие.

т. д., толщиной в 10 *см*. В этот слой утоплены лаги из досок, по которым настилается плотный деревянный пол. Весьма нетеплопроводными и воздухонепроницаемыми типами перекрытий следует считать перекрытия с разнообразными пустотелыми камнями (фиг. 87).

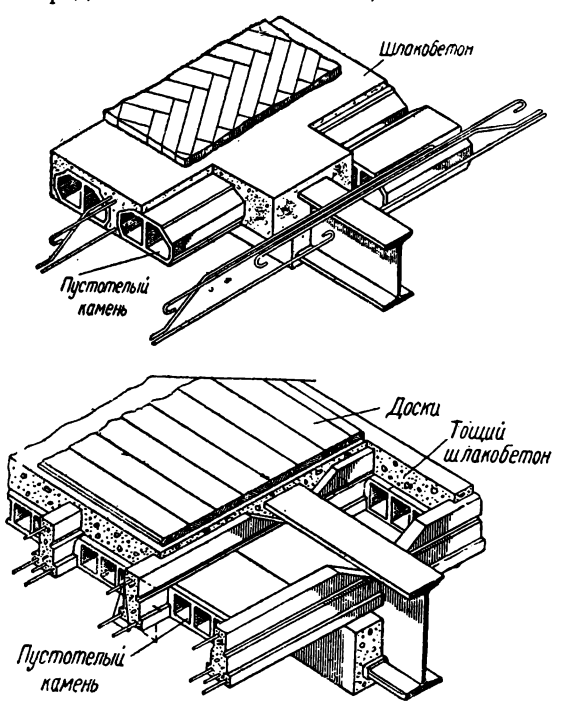
Печи в зданиях рекомендуется опирать на перекрытия на надежной изоляции, не устраивая для них самостоятельных фундаментов. В тех же случаях, когда этого нельзя сделать по тем или иным соображениям, печи можно ставить на отдельных фундаментах. Фундаменты под печи лучше всего делать в виде деревянного ряжа, заполненного шлакобетоном, бетоном с древесной стружкой и опилками или вообще каким-либо мало теплопроводным материалом.

Дно ряжа и верх его должны быть закрыты сплошным плотным рядом деревянных брусьев. На верх ряжа под печь полезно уложить слой теплого бетона в 20 *см*. Ряж заглубляется в грунт на такую же глубину, как и фундаменты, и проходит сквозь все проветриваемое подполье.

Если здание оперто на городки и возможны его деформации из-за пучения, то печи нельзя опирать на ряжи, ибо это будет препятствовать свободным деформациям здания. В этом случае

[1] При условии, что содержание серы в шлаке очень незначительно, иначе железная арматура быстро придет в негодность.

правильнее опирать печь на специальные конструкции, могущие передать вес печей стенам, а не на самостоятельные фундаменты.

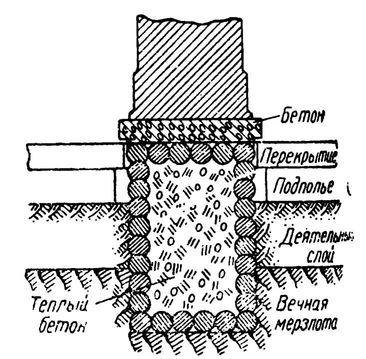


Фиг. 87. Типы перекрытий с пустотелыми керамиковыми или керамзитобетонными камнями.

Устройство ряжевого фундамента под печь изображено на фиг. 88.

В некоторых случаях отдельно стоящие здания рационально строить на подсыпке, сделанной на поверхности земли. В качестве подсыпки лучше всего применять шлак, но можно делать подсыпку и из хорошо дренирующих грунтов или даже из камня и гальки. Подсыпку из грунта и особенно из камня и гальки необходимо устраивать по слою мха или торфа, а сверху защищать таким же материалом, прикрыв его слоем глины, или если ее нет, то слоем местного грунта. Если подсыпка галечная или каменистая, то целесообразно прокладывать ряды камней мхом или иным нетеплопроводным материалом.

Деревянные здания на городках ставятся прямо сверху на подсыпку (фиг. 89), а каменные здания необходимо ставить на особые столбчатые фундаменты, пропустив их сквозь подсыпку и углубив в слой мерзлоты на 0,75—1,0 *м*. Устройство подсыпки имеет двоякое значение. Во-первых, подсыпка, особенно из нетеплопроводного материала, будет препятствовать глубокому и быстрому промерзанию деятельного слоя и следовательно смягчит влияние пучения деятельного слоя, а во-вторых, она будет препятствовать проникании тепла в грунт и, следовательно, сохранит верхнюю границу, а возможно даже вызовет подъем слоя вечной мерзлоты.

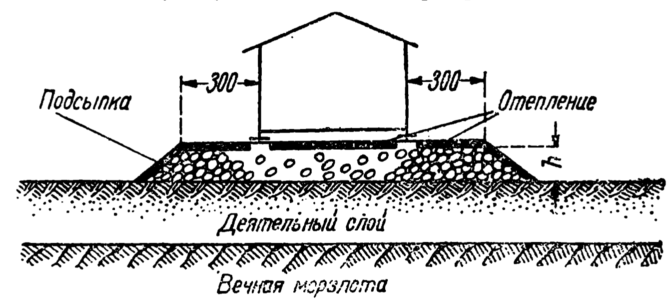


Фиг. 88. Ряжевый фундамент под печь.

Почти такое устройство имеет жилой дом на Сковородинской мерзлотной станции. Он построен на городках с проветриваемым

подпольем, но городки уложены не на шлаковую подушку, а на дневную поверхность земли[1] (фиг. 90). Шлаковая подсыпка или подушка под зданием сделана толщиной 70 *см*.

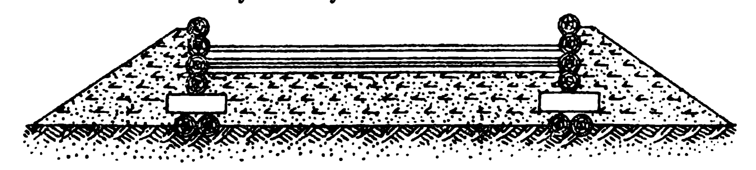
По сообщению инж. В. А. Бялыницкого это здание подвергается пучению. Причина этого, вероятно, кроется в недостаточно правильном устройстве. Прежде всего городки следовало уложить на подсыпку из шлака, т. е. выше на 70 *см*. Затем снаружи под зданием подушку надо было прикрыть слоем грунта по



Фиг. 89. Деревянное здание на подсыпке.

мху, чтобы грунт не проник в шлак. Кроме того слой грунта по мху препятствовал бы относительно свободной циркуляции воздуха в теле подсыпки и улучшил бы ее работу. Под подушку тоже следовало уложить слой мха.

Во всяком случае мерзлота под этим зданием сохранилась и деформации от пучения деятельного слоя невелики, как это можно заключить из упомянутой статьи Н. И. Быкова, ибо дом



Фиг. 90. Непригодное устройство подсыпки.

эксплоатируется с успехом, особенно после ремонта перекрытий, сильно пропускавших холод (фиг. 83). Помимо этого дома имеется еще ряд зданий, устроенных в других местах так, как это указано на фиг. 89, со слоем шлака в 80 *см*.

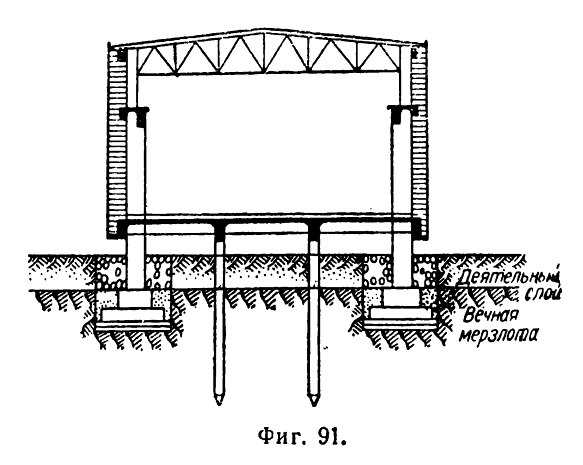
На ст. Уруша такие подсыпки были выполнены из камня. По имеющимся сведениям, мерзлота под этими зданиями протаяла, но это произошло, видимо, из-за неправильного устройства подсыпок, так как камень в подушке не был достаточно изолирован ни сверху, ни снизу и не были проложены слои из мха или из другого нетеплопроводного материала. Кроме этого неизвестно, были ли устроены в этих зданиях надлежащим образом про-

[1] Н. И. Быков, Из практики работы мерзлотной станции, Строительная промышленность, № 7—8, 1937, стр. 28.

ветриваемые подполья. Сам по себе камень, закрытый сверху слоем мха и местного грунта, и с прокладками из мха, соломы или других материалов, не может служить причиной для протаивания мерзлоты.

Здания с большим тепловыделением, очевидно, можно проектировать по предыдущему, но так как в некоторых сооружениях этого рода может потребоваться большая высота подполья, а иногда и специальное вентиляционное оборудование, то их рекомендуется строить двухэтажными. В таком случае можно будет в первом этаже расположить помещения с обычной температурой, а источники тепла поместить во втором этаже.

Такое устройство особенно целесообразно для деревянных зданий типа бань, прачечных, общественных кухонь и пр.



Фиг. 91.

Отвод воды, пара и газов из производственных помещений в этих зданиях следует производить весьма тщательно, обязательно в изолированных трубах, по возможности сразу наружу здания и притом так, чтобы не происходило нагревание грунта, стен и фундаментов непосредственно от трубопроводов, а также, чтобы вода не могла попасть в грунт возле здания. Далее важно не допускать нагревания стен и фундаментов непосредственно самими приборами и аппаратами. Общеизвестен случай протаивания мерзлоты в основании фундаментов в здании, где возле стены были поставлены два горна, сильно нагревших стену.

Возможность и польза устройства проветриваемого подполья несомненны для отапливаемых зданий как одноэтажных, так и многоэтажных, если эти здания обычного типа и не имеют очень больших пролетов.

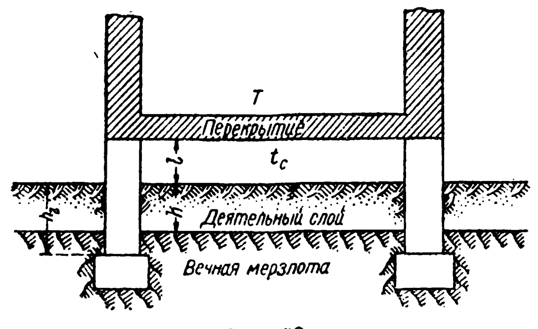
Для зданий цехов и других отапливаемых сооружений, имеющих большие пролеты, тоже возможно спроектировать проветриваемое подполье, например оперев пол на специальное перекрытие по сваям (фиг. 91), заглубленным в слой вечной мерзлоты с помощью американской паровой иглы. Но практически, в зависимости от размеров здания, может оказаться необходимым делать подполье очень большой высоты, что не всегда возможно, удобно и выгодно.

Кроме того в зданиях фабрично-заводского типа перекрытие над подпольем получится дорогим и тяжелым, даже в небольших зданиях. Многие здания промышленного характера имеют тяжелое оборудование, а некоторые из них требуют пропуска

нутрь железнодорожных составов. Независимо от временной агрузки перекрытие над проветриваемым подпольем будет меть большой вес вследствие укладки теплоизоляционных матеиалов.

Поэтому проветриваемое подполье часто не удается сделать будет необходимо настилать пол прямо на земле. Для этих даний единственным решением при строительстве их на мерзлоте ожет быть искусственное поддержание мерзлоты при помощи пециальных холодильных установок или замена грунта на больую глубину. Так как эти вопросы еще совсем не разработаны, отя такие решения и представляются иногда разумными, то десь придется ограничиться лишь упоминанием возможности пообных вариантов.

Очевидно, что пока здания с большим тепловыделением зарунительно строить по принципу сохранения мерзлоты. Для них учше всего искать мето, где мерзлоты нет или де неглубоко в почве меется скала, или же, аконец, переходить к ругим способам строиельства.



Фиг. 92.

Для расчета проверваемого подполья ожно воспользоваться ормулами и соображениями (фиг. 92), предложеными Н. А. Цытовичем.[1]

Для расчета необходио знать термическое сопротивление пола R, представляющее собой величину, обратную всеобщему коэфициенту передачи тепла K, применяемому в строительной теплотехнике. Значение R найется для перекрытия данного устройства по формуле

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \sum_{1}^{n} \frac{l_i}{\lambda_i},$$

де a и a_0 — суммарные величины коэфициентов конвекции и лучеиспускания внешней и внутренней поверхностей пола в здании;

l_i — толщина каждого из слоев материала, из которых образовано перекрытие;

λ_i — коэфициенты теплопроводности каждого из слоев материала, из которых образовано перекрытие.

Знак суммы $\sum_{1}^{n}$ показывает, что надо взять сумму отношений $\frac{l_i}{\lambda_i}$ для всех слоев материалов, из которых составлено

[1] Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основы механики мерзлых грунтв, Академия наук СССР, 1937, стр. 400.

перекрытие. Значения a, a_0 l_i и γ можно взять из справочни ков по отоплению и вентиляции.

Допускаемое количество тепла, которое может быть выделен полом здания в открытое со всех сторон подполье, должно быт

$$q_0 = Q_1 - \frac{h_2}{h_1} Q_2;$$

здесь Q_1 — количество тепла, теряемое грунтом в перио охлаждения на открытой площадке в год;

Q_2 — количество тепла, получаемое грунтом в перио нагревания на открытой площадке;

h_2 — допускаемая глубина оттаивания грунта в подполь

h_1 — глубина оттаивания грунта на открытом месте.

Найденное выше термическое сопротивление пола не должн быть меньше величины, определяемой допускаемым количество тепла, выделяемым полом, т. е.

$$R \geqslant \frac{(T - t_c) 24m}{q_0},$$

где T — температура внутри помещения;

t_c — средняя температура в подполье за период отриц тельных температур, которую можно принять равн средней температуре наружного воздуха за тот ж период;

m — число дней в году с отрицательной температурой.

Для определения величин Q_1 и Q_2 служит формула

$$Q = h_i(c_1 w\delta t_1 + c_2 \delta t_1 + 80 w\delta + w\delta t_2 + c_2 \delta t_2),$$

где h_i — высота рассматриваемого слоя грунта в *см*;

$c_1 = 0{,}5$ есть теплоемкость льда;

c_2 — теплоемкость сухого грунта;

δ — объемный вес скелета грунта;

w — весовая влажность грунта, выраженная в долях единиц

t_1 — отрицательная температура в начале рассматриваемо промежутка времени;

t_2 — положительная температура в конце рассматриваемо промежутка времени.

Приближенно глубину оттаивания в подполье можно определи из следующего уравнения

$$h_2 = h \frac{0{,}85 Q_2 - q_2}{Q_2},$$

где q_2 — количество тепла, выделяемое полом здания за летн период;

h — высота деятельного слоя.

Для глубины промерзания грунта в подполье получится

$$h_1 = h \frac{Q_1 - q_1}{Q_2},$$

где q_1 — количество тепла, выделяемое полом здания за зимн период.

Что касается высоты подполья, то она в известной мере опре-яется следующими соображениями Н. А. Цытовича.

Для того чтобы происходила вентиляция подполья, т. е. осу-твлялся необходимый обмен воздуха, требуется соблюдение овия, заключающегося в том, что имеющийся напор H воздуха і бы равен или больше величины напора H_1, теряемого в от-стиях.

$$H \geqslant H_1.$$

Величину H можно найти, считая нейтральную зону расположен-і посредине высоты l вентилируемого подполья (фиг. 92).

$$H = 0{,}5l(\gamma_{tH} - \gamma_{tc}),$$

γ_{tH} — вес воздуха при данной температуре наружного воздуха;
γ_{tc} — то же при средней температуре воздуха в подполье.

Вес воздуха находится по формуле

$$\gamma_t = \frac{1{,}293}{1 + \frac{t}{273}}.$$

Величина H_1 равна

$$H_1 = \frac{v^2\gamma_{tc}}{2ga^2},$$

е v — скорость воздуха в плоскости отверстий;
γ_{tc} — удельный вес перемещаемого воздуха;
g — ускорение силы тяжести;
a — коэфициент контракции, обычно принимаемый равным 0,65.

В этой формуле v выражается в *м/сек*, γ_{tc} — в *кг/м*^{3}, g — *м/сек*^{2}, отчего размерность H будет *кг/м*^{2} или *мм* водяного олба. Наименьшая высота подполья должна быть не менее 50 *см* свету между верхом почвы и низом балок перекрытия.

Мероприятия, рекомендуемые для уменьшения влияния деятель-го слоя, приведены далее в разделе 5 этого параграфа.

ОСТ 90032—39 содержат специальные указания об устройстве ундаментов для рассматриваемых условий.

§ 32. Заложение фундаментов, как правило, производится ниже деятельного слоя. Под незначительные и временные сооружения допускается устройство облегченных фундаментов в виде: городков, лежней, подкладок и т. п., укладываемых с удалением лишь поверхностного почвенного слоя.

Под ответственные сооружения заложение фундаментов в пределах деятельного слоя допускается лишь при сухих песчаных и гравийно-галечных грунтах с предохранением их от увлажнений и с учетом характера нижележащих подстилающих слоев.

§ 33. При методе «А» (§ 22) глубина заложения фундаментов назначается з условий обеспечения грунту основания вечномерзлого состояния, с учетом теплового режима сооружения, температурного режима деятельного слоя и вечной мерзлоты, а также намеченных проектом мероприятий по предохранению от оттаивания.

Устойчивость режима вечномерзлых грунтов основания при ответственных сооружениях проверяется теплотехническим расчетом.

При заложении фундаментов в условиях сливающейся вечной мерзлоты по методам «А» и «Б» (§ 22) необходимо учитывать возможное увеличение мощности деятельного слоя около сооружения, особенно у южных стен.

Необходимо заметить, что абзац второй § 32 ОСТ 90032—39 содержит несколько неосторожные указания о возможных случаях заложения фундаментов для ответственных сооружений в пределах деятельного слоя. Было бы правильнее таких указаний не давать и таких устройств не делать.

Г. Замечания о расчете фундаментов

При проектировании фундаментов, опертых на слой вечной мерзлоты, возникает вопрос — какие допускаемые напряжения принимать для этого слоя.

Правильнее допускаемые напряжения на вечномерзлый грунт определять для данной постройки на месте, в соответствии с указаниями, сделанными ранее в § 10, п. Б.

ОСТ 90032—39 приводит особую таблицу допускаемых давлений на вечномерзлый грунт и дает специальные указания по определению их величины.

§ 17. Допускаемые давления на вечномерзлые грунты устанавливаются на основе результатов соответствующих инженерно-геологических и мерзлотных исследований грунтов под сооружением. При этом учитываются метод устройства оснований отдельных сооружений, их температурный режим и жесткость конструкций.

§ 18. Для сооружений, возводимых на вечномерзлых грунтах, имеющих постоянно отрицательную температуру, и при полном заполнении пор льдом, допускаемые давления принимаются по табл. 2.

Таблица 2

№ по порядку	Наименование мерзлых грунтов по гранулометрическому составу	Допускаемое давление в $кг/см^2$ при температуре		
		от —0,2° до —0,5°	—1,5°	—2° и ниже
1	Пески (фракций менее 1 *мм* —100%, причем фракций менее 0,005 *мм* — не более 3%)	3,5	4,5	6
2	Супеси (фракций менее 0,005 *мм* — не более 10%)	2,5	3,5	4,5
3	Суглинки (фракций менее 0,005 *мм* — от 10 до 30%)	2,0	3,0	4,0
4	Глины (фракций менее 0,005 *мм* — больше 30%)	1,5	2,5	3,5
5	Пылевато илистые грунты (фракций 0,01—0,005 *мм* — более 50%; фракций менее 0,005 *мм* — до 30%, наличие в отдельных случаях органических веществ — до 10%)	1,0	2,0	3,0

Примечания: 1. Для промежуточных температур допускаемые давления принимаются по интерполяции.

2. Данные табл. 2 не распространяются на вечномерзлые грунты, в толще которых имеются прослойки льда.

3. Для сооружений 3-го класса указанные в табл. 2 величины могут быть шены умножением на коэфициент 1,5.

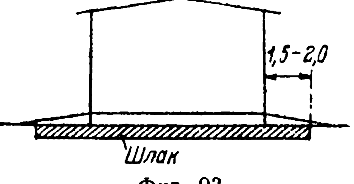
§ 19. В случае возможного оттаивания вечной мерзлоты (например под гоми цехами, а также для мерзлоты с температурой 0° и др.) допускаемое ение определяется по результатам испытаний нагрузкой, проводимых таиванием мерзлоты.

§ 20. Несущая способность «сухой мерзлоты» определяется на основе едований, проводимых по тем же методам, как и для обычных талых тов. Грунты «сухой мерзлоты» при переходе через температуру 0° своей щей способности не меняют.

3. Строительство зданий с конструкцией, приспособленной к осадкам вследствие протаивания вечной мерзлоты

Возведение по этому методу сколько-нибудь серьезных сооруий мало приемлемо при большой влажности грунтов и при плогрунтах слоя вечной мерзлоты. Но при малой влажности песых, гравелистых и галечных грунтов, не свыше 25—30%, без яных прослойков и линз, такой метод вполне пригоден.

В этом случае можно не стремиться сохранить во чтобы то ни ло слой вечной мерзлоты, так как благодаря малой влажности хорошим строительным качествам нта осадки фундамента при частич протаивании мерзлоты под ним бу незначительны и неопасны.



Фиг. 93.

Фундаменты при этих условиях слеет проектировать в предположении таивания мерзлоты, по допускаем напряжениям для талого грунта, еделенным испытаниями на месте.

глубление фундамента в слой мерзлоты рекомендуется взять им, чтобы была пройдена более влажная верхняя часть мерзго слоя (фиг. 6) и не менее 1 *м*.

Для выяснения величины возможных осадок необходимо на сте произвести исследования согласно указаниям, имеющимся главе III, а также определить величину осадок соответствуюими расчетами.

Чтобы осадки не происходили очень интенсивно, весьма полезно нимать меры к замедлению оттаивания слоя вечной мерзлоты. звестной мере для этого можно воспользоваться общими указаниями и требованиями, приведенными в п. 2 этого параграфа. Из этих мер может оказаться целесообразным устройство под полом ания шлаковой или гаревой подушки толщиной 30—50 *см*, выящей за пределы здания на 1,5—2 *м* (фиг. 93), или устройство ания по фиг. 91.

Снижение неравномерности осадок и их влияния на конструкю может быть достигнуто также согласно указаниям ОСТ 032—39, § 28 и § 29 различными мероприятиями, приведенными ше (§ 12).

Во всех зданиях, которые допускают устройство проветриваего подполья и где последнее не будет стоить дорого, лучше его раивать по предыдущему, придавая перекрытию над подпольем зможно большее термическое сопротивление. Особенно полезным

представляется проветриваемое подполье в зданиях обычного н значения, строящихся в таких местах, где слой вечной мерзло имеет температуру, близкую к 0° и не ниже —0,5°, ибо для так условий возможность протаивания мерзлоты или ее сохранен весьма неопределенна, отчего лучше ориентироваться на возмо ность протаивания, но принимать меры к максимальному замед. нию, а может быть и к задержке этого процесса, всегда чревато неожиданностями.

Для деревянных построек второстепенного назначения доі стимо, как и при первом методе, строить дома на городках и клетках. При деформациях из-за протаивания мерзлоты дома городках можно выправлять. Эти здания кажутся приемлемыми в грунтовых условиях худших, чем указано выше, т. е. при вла ности, превышающей 30%. Устройство деревянных домов на і родках не отличается от описанных устройств.

В последние годы в промышленном строительстве получи довольно широкое распространение свайное основание. Оно устра валось следующим образом. Сваи заглублялись в мерзлоту глубину 5—6 *м* в предположении, что им передается только ча нагрузки, а остальное давление воспринимается посредством ро верка грунтом, уплотненным сваями. Это сомнительное решение, і если грунт слабый и имеет обильную влажность, сваи будут ос дать. При хорошем мало влажном грунте такое устройство в можно, но в этих условиях едва ли необходимы сваи. Если до (пор в зданиях, построенных таким образом, не было деформац то это объясняется, вероятно, тем, что мерзлота в пределах дли свай и ниже свай еще не оттаяла.

Возможным устройством при слабых грунтах слоя вечн мерзлоты следует считать фундаменты в виде сплошной плиты п всем сооружением. Сплошная фундаментная плита, сделанная железобетона, будучи соответственно рассчитана и обладающ большой жесткостью, препятствует деформациям отдельных част сооружения, но допускает общие деформации всего сооружен: выражающиеся в некотором наклоне постройки при одностороні оттаивании.

Фундаменты этого рода нашли большое применение в услові вечной мерзлоты для водонапорных башен и насосных зданий і больших размеров в плане. Армированная бетонная плита в име щихся примерах сделана толщиной до 1,0 *м* и уложена на пс сыпку из песка или гравия, а иногда на деревянный ростверк двух рядов брусьев.

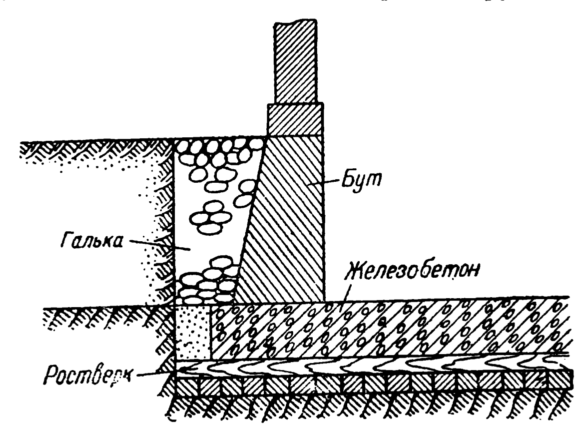
В то время как при обычных кольцевых фундаментах водо порных башен в последних появляются значительные трещи здания со сплошными плитами находятся в удовлетворительн состоянии.

Наклон здания водонапорной башни с фундаментом в ві сплошной плиты наблюдается на одной железнодорожной станц Несмотря на наклон здания, в стенах трещин не было. Нак. возник из-за неравномерного протаивания мерзлоты со сторо ввода водопроводных труб.

На той же станции инж. Будаев описывает деревянн

юкольню, которая к 28 ноября отклонилась к югу от вертикали 28 *см*, а 18 апреля имела наклон только в 14 *см*. Очевидно нан был уменьшен пучением грунта. К 10 мая наклон снова увеилсся до 16 *см*. Хотя у колокольни не было сплошной плиты, имела очень жесткую конструкцию и малые размеры, была положена на лежнях, и потому может быть уподоблена, в изтной степени, зданию на сплошной плите.

Устройство фундамента для каменных водонапорных башен, омендованное М. Я. Чернышевым для переувлажненных глиних и пылеватых грунтов, превращающихся при оттаивании в ивунную массу, приведено на фиг. 94. Фундамент состоит из овой стенки, опирающейся на сплошную плиту из железобеа, уложенную на деревянный ростверк из двух рядов брусьев. аружи фундамент ательно заглажен избежание вредных здействий пучения ятельного слоя и запан вокруг галькой, звием или шлаком.



Фиг. 94. Фундамент каменной водонапорной башни на слое вечной мерзлоты.

Здесь уместно соаться на интересный имер постройки здая на очень плохом унте. В Альбани мерика) было выроено 11-этажное здае на глинистом грунс содержанием воды коло 50%. Фундамент ого здания представяет собой сплошную елезобетонную плиту размером в плане 32 $\times$ 52 *м*, толщиной 0,91 *м*, которой вдоль и поперек поставлены железобетонные балки ренделя, поддерживающие колонны здания с шагом около 6 *м*.[1] Конечно, это не вечная мерзлота, но грунт все же очень плохой, если при этих условиях для тяжелого здания фундамент такого ша оказался рациональным, то и в рассматриваемых условиях в которых случаях приемлемо нечто подобное.

Строительство в предположении протаивания мерзлоты и с допущением вследствие этого осадок фундаментов требует знания орядка величины осадок, интенсивности протаивания и глубины го за тот или иной срок, а также представления о нагрузке, допускаемой на оттаявший грунт. Все эти данные получаются посредством исследований и испытаний грунтов, о которых сказано выше § 10 и при помощи приведенных далее расчетов.

Следует заметить, что величина осадок мерзлого грунта под нагрузкой после оттаивания в значительной мере зависит от глубины протаивания. Вместе с тем глубина оттаивания представляется

[1] Eng. News Record, 27/XI, 1930.

чрезвычайно сложной функцией многих довольно неопределен факторов. Вследствие этого точное определение величин оса фундаментов, заложенных на протаивающей мерзлоте, по мне Н. А. Цытовича и М. И. Сумгина едва ли возможно.

Необходимо указать, что приближенная оценка осадок можна лишь тогда, когда нагрузка от сооружения на поверхнс грунта не превосходит критической нагрузки для данного гру при его оттаивании. В противном случае осадка может оказат очень большой, ибо она будет зависеть от выдавливания гру из-под подошвы фундамента. Последнее не может быть допущ ибо это приведет к неминуемому полному разрушению построй В частности, такой случай будет иметь место почти всегда глинистых грунтах, ибо мерзлые глинистые грунты обычно по оттаивания имеют ничтожную прочность. Интенсивность и приб зительную глубину оттаивания грунта находят на основании ображений и формул, приведенных на стр. 140.

Глубина оттаивания почвы может быть найдена по форм М. М. Крылова:

$$h_м = h_м' + \sqrt{\frac{2\Theta\lambda t}{w\rho} - \frac{gt}{w\rho}},$$

где $h_м'$ — глубина оттаивания в начале рассматриваемого перио в метрах;

$h_м$ — глубина оттаивания в конце рассматриваемого перио в метрах;

Θ — температурный перепад;

λ — коэфициент внутренней теплопроводности талого грун

t — время протаивания в часах;

w — весовая влажность в отношении к сухому грунту;

ρ — скрытая теплота плавления льда 80 000 кал/м³;

g — теплопотеря на прогрев вечной мерзлоты.

Величина критической и допускаемой нагрузки для оттаявш мерзлоты должна быть установлена на месте постройки соору ния посредством соответствующих испытаний. Приближен значение критической нагрузки можно найти по формуле про Н. П. Пузыревского (Фрелиха):[1]

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot H}{\operatorname{ctg}\varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}.$$

Для предварительных соображений, при невозможности устан вить на месте опытным путем действительные допускаемые нап жения на оттаявшую мерзлоту, расчетные напряжения для эск ного проектирования можно взять равными

$$\sigma_{гр} = \frac{0{,}67\pi \cdot \gamma \cdot H}{\operatorname{ctg}\varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}.$$

---

[1] Н. А. Цытович, Основы механики грунтов, 1934, стр. 235.

В последних двух формулах

$\pi = 3{,}14$;

γ — объемный вес грунта в $т/м^3$;

H — глубина заложения фундамента в $м$;

φ — угол внутреннего трения грунта.

В знаменателе последней формулы в выражении $\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$ необходимо брать φ в радианах. Обе формулы неприменимы для глинистых грунтов.

Определение ориентировочной величины окончательной осадки для случая, когда критическая нагрузка на данный грунт больше, чем давление от сооружения, можно производить по методу расчета осадок фундаментов по эквивалентному слою грунта. Этот метод учитывает всю высоту сжатого слоя грунта под фундаментом, физические свойства грунтов и размеры и форму фундаментов. Этот метод неприемлем для весьма неоднородных мерзлых грунтов, содержащих прослойки льда. Полная и окончательная осадка фундамента будет [1]

$$S = h_s \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1},$$

где h_s — мощность эквивалентного слоя грунта;

ε_1 — начальный коэфициент пористости грунта ненарушенной структуры, или, иначе, коэфициент пористости мерзлоты, включая в объем пар и лед;

ε_2 — коэфициент пористости, который будет иметь грунт под действием нагрузки после того как прекратится осадка оттаявшего грунта.

Мощность эквивалентного слоя h_s получится по Н. А. Цытовичу

$$h_s = A\omega_0 b,$$

где b — ширина площади подошвы фундамента, а значение произведения $A\omega_0$ приводится в табл. 7, принадлежащей Н. А. Цытовичу.

4. Строительство зданий при предварительном уничтожении мерзлоты в основании и в случаях глубокого залегания слоя мерзлоты

Строительство с предварительным уничтожением мерзлоты представляется очень целесообразным в тех случаях, когда слой вечной мерзлоты незначителен, а также при слоистой и гнездовой мерзлоте. Однако этот метод может применяться и тогда, когда имеется мощный слой мерзлоты с относительно высокой температурой и при маловлажных грунтах мерзлоты, хотя бы и лежащих на глубине 5—6 $м$ от поверхности земли.

Как было выяснено раньше, часто влажность грунтов слоя вечной мерзлоты сильно падает по мере удаления от ее верхней гра-

[1] Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основы механики мерзлых грун- Академия наук СССР, 1937, стр. 410.

Таблица 7

Значения $A\omega_0$ для вычисления мощности эквивалентного слоя грунта для средней осадки всей загруженной площади

Форма загруженной площади	Значение α	Значение коэфициента Пуассона (μ)							
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Круг . .	—	0,97	0,99	1,02	1,08	1,18	1,34	1,73	2,81
Квадрат . . .	1	0,95	0,97	1,01	1,07	1,17	1,32	1,71	2,78
Прямоугольник .	1,5	1,16	1,18	1,23	1,30	1,40	1,60	2,07	3,37
»	2	1,31	1,34	1,39	1,47	1,60	1,81	2,34	3,81
	3	1,55	1,58	1,63	1,73	1,89	2,13	2,75	4,48
	4	1,72	1,75	1,81	1,92	2,09	2 36	3,06	4,98
	5	1,85	1,88	1,95	2,07	2,25	2,54	3,29	5,36
	6	1,98	2,02	2,09	2,21	2,41	2,72	3,53	5,64
	7	2,06	2,10	2,18	2,31	2,51	2,84	3,67	5,98
	8	2,14	2,18	2,25	2,40	2,61	2,95	3,82	6,21
	9	2,21	2,26	2,34	2,47	2,69	3,04	3,92	6,42
	10	2,27	2,32	2,40	2,54	2,77	3,13	4,05	6,59
	20	2,67	2,75	2,82	2,98	3,25	3,67	4,75	7,73
	30	2,91	2,97	3,08	3,25	3,54	4,00	5,18	8,44
	40	3,10	3,16	3,28	3,47	3,77	4,27	5,53	8,99
	50	3,25	3,32	3,44	3,64	3,96	4,47	5,80	9,43
	100	3,73	3,80	3,94	4,16	4,54	5,12	6,64	10,81

Примечание. В таблице α обозначает отношение сторон прямоугольного в плане фундамента $\alpha = \frac{a}{b}$.

ницы (фиг. 6). Очевидно возможны случаи, когда на глубине 5—6 *м* влажность мерзлоты будет так невелика, что осадки нижележащих слоев грунта окажутся мало заметными, и даже вообще неощутимыми для сооружения при переходе этих глубоких слоев из мерзлого состояния в талое. Сильно влажные верхние слои осядут при предварительном оттаивании и в дальнейшем не будут давать осадки. В таком случае создадутся обычные условия постройки здания на талом грунте.

Протаивание грунта можно произвести отчасти естественным теплом. Для этого следует ранней весной произвести широкую мелиорацию местности, т. е. вырубить кустарник и другую мелкую растительность, снять моховой или торфяной покров, выбрать гумусовый слой и провести систему осушительных канав и дренажей, а также сжечь (спалить) травяной покров.

Более глубокого протаивания мерзлоты можно достигнуть пожогами, т. е. разжиганием костров на поверхности земли.

Наиболее целесообразным способом оттаивания мерзлоты следует считать оттаивание при помощи пропаривания грунта американской паровой иглой. Пропаривание грунта на глубину 5—7 *м* практически не составляет затруднений. Так как грунт после пропаривания может оказаться весьма влажным, необходимо отвести воду из грунта посредством соответствующего дренажа или даже, для ускорения работ и при невозможности дренажа, при помощи откачки. Для последней можно было бы воспользоваться аппара-

тами и приспособлениями, применяемыми при понижении уровня грунтовых вод для строительных работ.[1] Имеющийся опыт понижения уровня грунтовых вод показывает, что оно эффективно до глубин порядка 20—25 *м*, при применении так называемых глубинных насосов. Правда, эффективность этого способа зависит главным образом от характеристики грунтов.

В проекте одной плотины на р. Волге при илисто-песчаных, песчано-илистых и песчаных грунтах было запроектировано понижение грунтовых вод на 26 *м* по отношению к горизонту высокой воды. Наибольшее понижение, достигнутое за границей, составляет 24 *м*.

В качестве наглядного примера приводится схематическое изображение новейшей американской понизительной установки системы Moretrench Wellpoint,[2] примененной для работ в обычных условиях на постройке канализации в Сев. Торонто в Канаде (фиг. 95). Грунты, в которых производилось понижение на глубину до 6,0 *м*, состояли из слоев суглинков, иловатых грунтов, чистой глины и глины с гравием и камнем. После установки аппаратуры понижение достигло нужного уровня через 49 часов.

Фиг. 95. Схема новейшей американской водопонижающей установки системы Moretrench Wellpoint на постройке в Канаде.

Вся установка состоит из магистральной трубы, уложенной вокруг котлована, особых отводов-колодцев, располагаемых через несколько метров (фиг. 96), и нескольких мощных насосов.

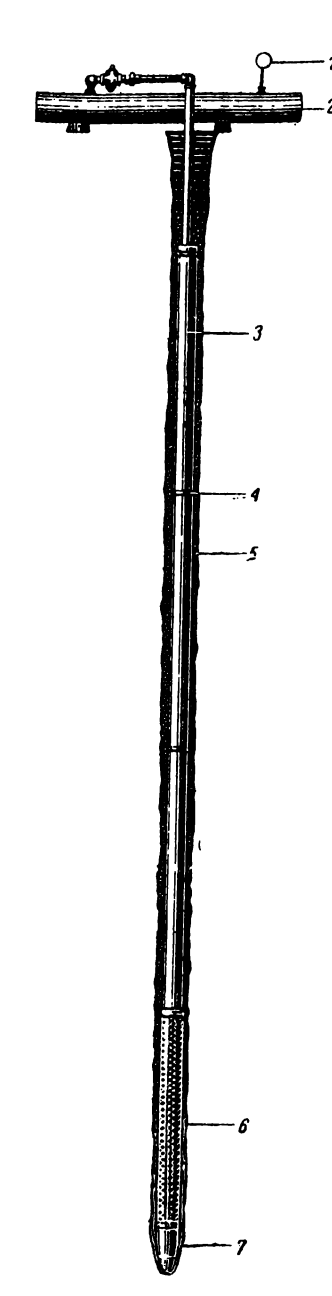
Колодец представляет собой скважину, в которую опущена металлическая трубка, защищенная деревянной оболочкой. Скважина имеет диаметр несколько больший, чем диаметр оболочки; в зазор между скважиной и оболочкой засыпают чистый песок в качестве фильтра.

Общий вид котлована и установки показан на фиг. 97. В осушенном котловане работает экскаватор; работа производится, как в сухом месте.

---

[1] Б. Д. Васильев, Основания и фундаменты, Госстройиздат, 1937, стр. 235.

[2] The Moretrench Wellpoint system, Moretrench Corporation USA Rokaway, New-Jersey, 1931.



Фиг. 96. Фильтрационный колодец системы Moretrench.

1 — манометр; *2* — трубка к насосу; *3* — деревянная оболочка; *4* — бандаж; *5* песок-фильтр; *6* — предохранительная сетка фильтра; *7* — оболочка клапана.

После удаления воды из грунта осадка его остановится; в дальнейшем можно произвести планировку участка и вести строительные работы так же, как в обычных условиях. При слабых грунтах, после откачки воды, возможно в подходящих случаях сделать свайное основание или иным способом укрепить грунт.

Возникает вопрос, не сможет ли возвратиться мерзлота, а с нею и возможность деформаций сооружения из-за пучения вновь замерзающего грунта, к тому же опять пропитывающегося водой из сопредельных слоев.

По этому вопросу можно заметить, что так как грунт уже уплотнен, воды в него будет проникать не так много. Замерзание грунта при восстановлении мерзлоты будет происходить очень медленно, ежегодно слоями небольшой мощности. Температура замерзающего слоя не может быть очень низкой. Поэтому едва ли можно ожидать каких-либо ощутимых деформаций выстроенных сооружений.

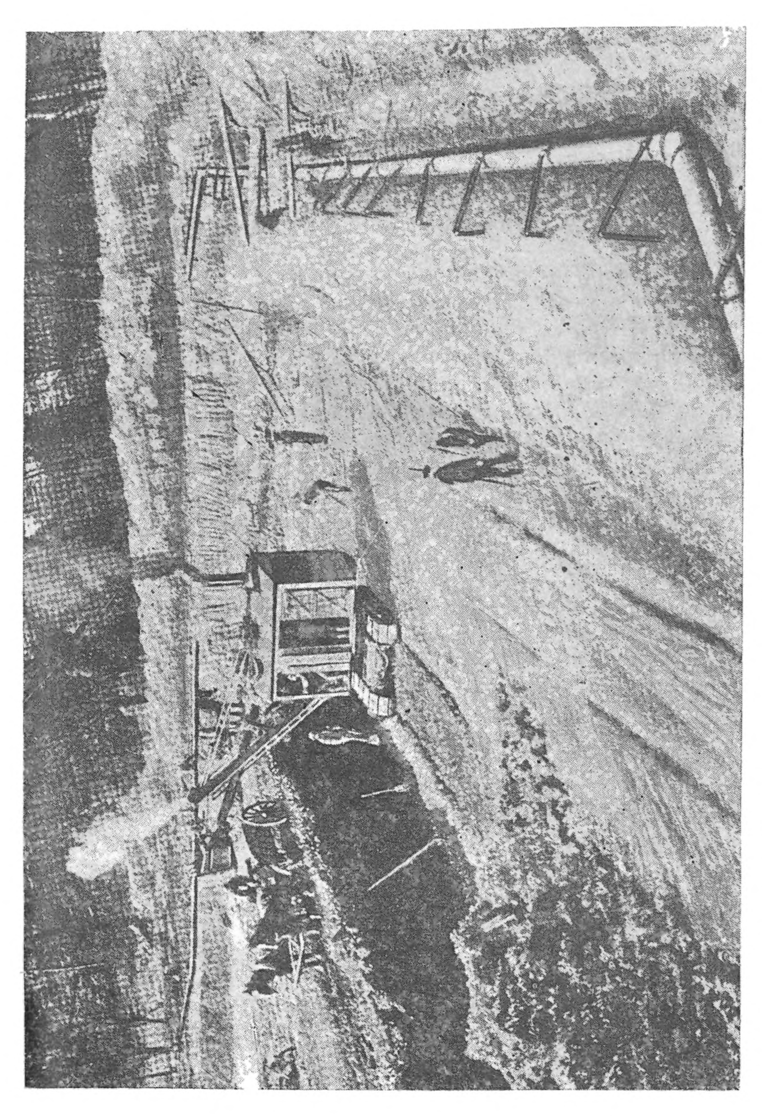
Следует указать, что из практики неизвестны случаи, когда поднятие горизонта мерзлоты сколько-нибудь отрицательно влияло на сооружение. Никаких деформаций при этом нигде и никогда не было замечено. Наоборот, поднятие мерзлоты, если бы оно произошло, полезно, так как вследствие этого основание было бы прочнее. Но надо думать, что восстановление мерзлоты для тех зданий, для которых может быть применен рассматриваемый метод, не произойдет, ибо это будут отапливаемые здания с полами прямо на грунте или здания с большим тепловыделением.

При постройке зданий по этому методу выгреба коллекторы, колодцы трубопроводы для канализационных производственных вод могут располагаться внутри здания или в непосредственной близости от него.

При эксплоатации следует поддерживать все мелиоративные мероприятия и производить новые. В зимнее время не рекомендуется производить очистку от снега местности, непосредственно

прилегающей к зданиям. Уборку снега следует производить лишь в минимально необходимых размерах и, в случае надобности, искусственно сохранять снег около зданий.

Глубину заложения фундаментов сооружений можно назначать, как обычно, ниже зимнего промерзания грунта. Глубина зимнего



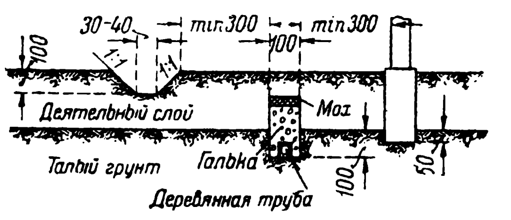
Фиг. 97. Котлован, осушенный понижением уровня грунтовых вод.

промерзания должна быть определена на оголенном от растительного покрова месте.

Очень важно сделать вокруг сооружения глубокий дренаж в виде деревянной трубы, уложенной на глубине около 1,0 *м* ниже глубины промерзания и засыпанной галькой или гравием. Кроме

дренажа, рекомендуется устроить открытую канаву глубиной 0,60—1 *м* и шириной по дну 0,30—0,40 *м*.

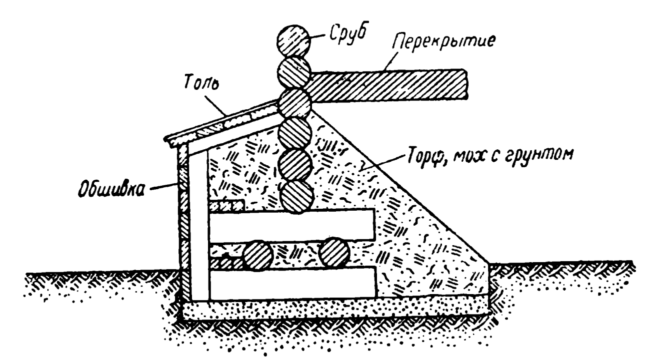
Устройство дренажа и канавы, а также расположение их по отношению к зданию, показаны на фиг. 98. Главное назначение дренажа — уменьшение влажности почвы с целью воспрепятствования значительному пучению деятельного слоя. Другие мероприятия, преследующие те же цели, приведены в разделе 5 этого параграфа.



Фиг. 98. Устройство дренажа возле здания.

Что касается устройства зданий при отсутствии слоя вечной мерзлоты или глубоком залегании его, то здесь следует различать деревянные и каменные здания и назначать конструкцию их в зависимости от состава и влажности грунтов деятельного слоя, ибо опасность деформаций для этих зданий может возникнуть только вследствие пучения.

При пучинистом, весьма влажном деятельном слое деревянное здание выполняется, как обычно, в виде сруба, но с учетом наилучшего сопротивления деформациям. Для этого следует с особой тщательностью вязать углы, ставить вертикальные сжимы на болтах, соединять отдельные бревна шпонками, а нижние венцы болтами.



Фиг. 99. Деревянное здание на городках с отепленным подпольем.

По прежнему второстепенные деревянные здания можно строить на городках. Подполье в таких постройках должно быть теплое, дабы зимой не происходило интенсивное промерзание грунта под зданием, что может повести к значительному пучению грунта. Поэтому снаружи вокруг здания устраивается завалинка (фиг. 99) из досок, внутри заполненная теплоизолирующей смесью песка с торфяной мелочью, мхом, опилками, хвоей и т. д.

Перекрытие над подпольем можно сделать в виде обычного чистого и черного пола, причем конструкция его должна обеспечивать наибольшую воздухонепроницаемость и нетеплопроводность,

ювлетворяя требованиям теплотехнических норм, чтобы в помеениях на уровне пола была надлежащая температура.

Смазку по черному полу правильнее делать из плотной массы — лакобетона, опилочного бетона и т. п., но не из сыпучего матеıала, каким являются просто сухой шлак, торфяная мелочь или пилки.

Для уменьшения влажности деятельного слоя вокруг здания на ıсстоянии 3—5 *м* от стен надлежит отрыть канаву глубиной 60—1 *м* и шириной по дну 0,30—0,40 *м* (фиг. 98).

При больших размерах здания фундаменты могут быть выполны в виде отдельных бетонных столбов, заглубленных ниже деяльного слоя не менее чем на 0,5 *м*. При этом глубину зимнего ромерзания следует устанавливать на месте под оголенной поверхостью.

Боковые грани столбов следует делать наклонными под углом)—80° и затирать их цементным раствором. Бетонные столбы необходимо проверить на растяжение и выпучивание в соответствии указаниями главы II.

При грунтах, допускающих забивку свай, бетонные столбы ожно заменить деревянными сваями. Сваи должны быть забиты а 1 *м* ниже деятельного слоя. В ответственных зданиях при больюй нагрузке допустимо применение железобетонных свай.

Сваи и столбы в пределах деятельного слоя полезно окружить епучащейся засыпкой шириной 0,75 *м* с каждой стороны. Засыпка может состоять из гальки, гравия или прогрохоченного крупюго шлака, пролитых нефтью, мазутом или смолой и защищенных т заиливания.

Устройство теплого подполья и осушение грунта очень желаельно и при применении стульев или свай, особенно если деятельый слой состоит из пучинистых грунтов.

Для каменных зданий при деятельном слое, сложенном из хорошо дренирующих грунтов, фундаменты могут быть сделаны любого типа, но при условии устройства хорошего дренажа вокруг здания и теплого закрываемого на зиму подполья.

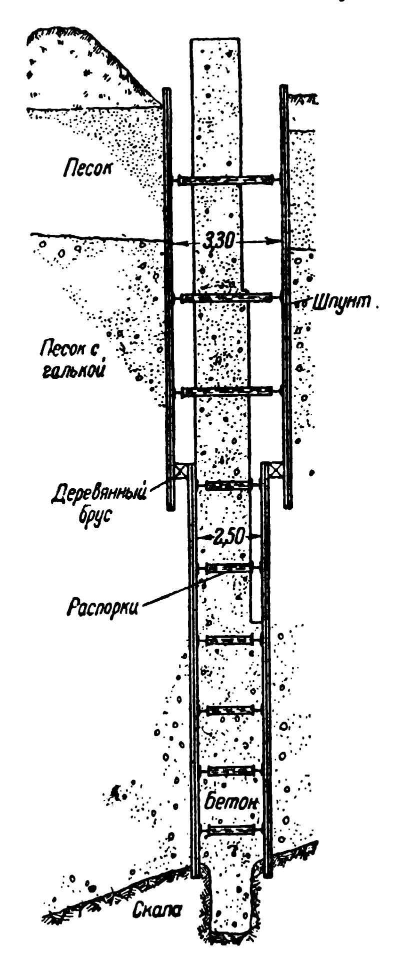
Если деятельный слой состоит из влажных пучинистых грунтов мелкий песок, пылеватые суглинки и т. п.), фундаменты зданий рекомендуется устраивать в виде отдельных каменных или железобетонных столбов. Каменные столбы из бута или бутобетона допустимы лишь при условии, что выпучивание их не может происходить вследствие значительной нагрузки на них. Это обстоятельство необходимо установить соответствующим расчетом на основании указаний главы II.

Каменные опоры (столбы) должны иметь гладкие затертые цементным раствором грани. Грани опор следует сделать наклонными под углом 70—80°. Железобетонные опоры устраиваются в виде тонких столбов с вертикальными гранями, с уширенным опорным башмаком внизу (фиг. 76), но без ростверка под башмаком. Вокруг опор полезно выбрать естественный грунт и заменить его непучающейся и слабо смерзающейся с опорами засыпкой, как сказано выше.

Каменные здания с числом этажей более двух могут быть сде-

ланы на сплошных бутовых фундаментах, если подполье или подвал зданий отеплены, вокруг здания имеется дренаж и засыпка фундаментов произведена галькой, гравием или шлаком.

Здания промышленного типа (мастерские, заводские цехи, депо) необходимо, в случае пучинистого деятельного слоя, строить на отдельных бетонных и бутовых или свайных опорах. Сваи и другие опоры надо рассчитать на растяжение и выпучивание. Не рекомендуется заглублять сваи меньше чем на удвоенную глубину деятельного слоя плюс 1,0 *м*, при условии, что они проходят сквозь деятельный слой.



Фиг. 100. Глубокое заложение фундаментного столба открытым способом при помощи металлического шпунта.

В тех случаях, когда фундаменты опущены ниже деятельного слоя, сваи заглубляются по обычному расчету по отказу и проверяются на выпучивающую силу (§ 5, п. 1), величина которой устанавливается в зависимости от местных условий.

Водоемные и другие здания малых размеров в плане могут строиться на сплошных фундаментах в виде железобетонной плиты.

При глубоком заложении опор сооружения, в случаях, упомянутых в § 13, п. 2, а также и при отсутствии мерзлоты, но при слабых грунтах вблизи от поверхности почвы и при значительной пучинистости мощного деятельного слоя, целесообразно применять бетонные, бутобетонные или железобетонные фундаменты, устраивая их открытым способом или при помощи опускных колодцев и кессонов.

Фундаментный столб, заложенный глубоко до скального грунта, может быть сделан в открытом котловане посредством шпунта. Шпунт забивается в два яруса. Верхний ряд делается гораздо шире фундамента для того, чтобы можно было внутри его забить шпунт для нижней части котлована после того как верхняя часть котлована будет выбрана. Шпунты распираются распорками и в нижней части служат опалубкой. Шпунт делается деревянный или лучше металлический.

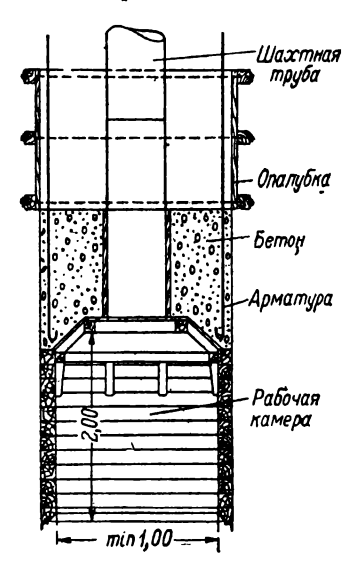
На фиг. 100 показано заложение в обычных условиях фундаментного столба открытым способом на глубину около 23 *м* для здания в Америке. Шпунт металлический. Размеры и устройство

дны на чертеже. Распорками служат куски двутавровых балок, ертые в горизонтальные пояса, тоже из двутавров.

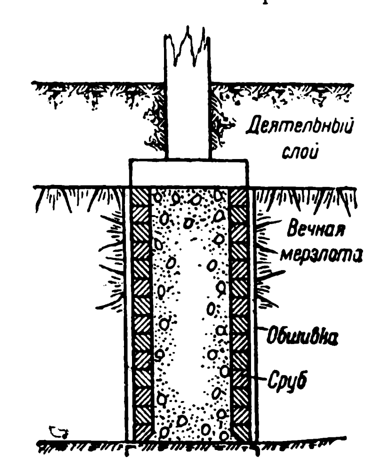
В наших условиях металлический шпунт представляется весьма естным и должен быть рекомендован для работ такого рода, тем лее что в СССР имеется достаточно большая практика его применения. Металлический шпунт прокатывается на отечественных водах.[1]

Протаивание мерзлоты в котловане удобно вести паровой иглой. отдельных случаях и при благоприятных обстоятельствах протаиние мерзлоты осуществимо посредством электропрогрева. Этот особ был применен, по свидетельству проф. Б. Д. Васильева, на постройке в Соликамске. Он описан далее в главе V.

Опускные колодцы и кессоны можно делать деревянными, металлическими, железобетонными и даже бетонными. Принимая во



Фиг. 101. Типовое американское устройство кессона для фундамента здания с деревянной рабочей камерой.



Фиг. 102. Деревянный опускной колодец.

имание, что опоры часто должны работать на растяжение вследзие пучения деятельного слоя, лучше всего кессоны делать смеанной конструкции: рабочую камеру из дерева, а остальную часть бетона, армированного круглым железом для восприятия растявающих усилий (фиг. 101). Каменная кладка, не способная приниъ растягивающие усилия при пучении, — непригодна.

Опускные колодцы в условиях вечной мерзлоты следует деъ деревянными, в виде сруба из брусьев обшитого снаружи, зависимости от размеров, досками толщиной в 5—7,5 *см* иг. 102). Доски следует пришивать к каждому брусу или через ус не менее чем двумя гвоздями. При сплачивании брусьев отльных венцов сруба необходимо применять болты.

---

[1] Б. Д. Васильев, Основания и фундаменты, Госстройиздат, 1937. 288.

Подобная же конструкция пригодна и для кессона. В этом случае в кессоне промежуток между деревянной стенкой и шахтной трубой можно заложить кладкой.

Для деревянных колодцев и кессонов более удобной является прямоугольная в плане форма. Для бетонных, железобетонных или металлических кессонов и опускных колодцев предпочтительнее круглая форма фундаментов, ибо в этом случае легче производство работ и при одной и той же затрате материалов получается наибольшая площадь опоры. Диаметр фундаментных столбов при опускных колодцах и кессонах назначается в соответствии с расчетом, но не должен быть меньше 90—100 *см*, так как иначе сильно затрудняется выборка грунта.

Рабочая камера кессона обычно имеет высоту около 2,0 *м* и предназначается при малом диаметре столба для работы одного человека.

Опускные колодцы могут иметь металлическую съемную оболочку, удаляемую по мере возведения фундаментного столба. Преимущество опускных колодцев и особенно кессонов заключается в том, что при них становится возможным закладывать фундаменты в любых, даже самых неудобных условиях и притом весьма глубоко. Приведенные чертежи взяты из практики постройки зданий в обычных, не мерзлотных условиях. Однако ничто не препятствует применению подобных устройств и в условиях вечной мерзлоты.

В случае опускания колодцев и кессонов в слое вечной мерзлоты, разработку грунтов можно вести путем протаивания грунтов паровой иглой, электронагревателями или посредством подмыва горячей водой.

Растягивающие усилия вследствие пучения и соответствующее армирование можно рассчитать следуя указаниям, сделанным в § 5, п. 1.

5. Мероприятия по предохранению фундаментов сооружений от выпучивания

Независимо от метода, принятого для строительства, во всех случаях следует считаться с неизбежным пучением деятельного слоя; поэтому необходимо принимать ряд мероприятий, предохраняющих фундаменты зданий от выпучивания. Эти мероприятия в основном состоят в следующем.

Фундаменты следует делать в виде отдельных опор возможно меньшего размера, устраивая их в пределах деятельного слоя расширяющимися книзу, с боковыми гранями наклонными к горизонтальной плоскости под углом 70—80° и гладко затертыми цементным раствором. Деревянные опоры должны быть гладко острогана и покрыты смолой.

Котлован вокруг фундамента полезно засыпать галькой. Последнюю рекомендуется предварительно пролить нефтью, мазутом

[1] Б. Д. Васильев, Основания и фундаменты, Госстройиздат, 1937, стр. 288.

и каменноугольной смолой. Засыпка должна быть защищена от иливания досчатыми щитами или песчаным фильтром. Для уменьшения интенсивности промерзания поверхность грунта около здания рекомендуется покрывать теплоизолирующими материалами, при глубоком залегании вечной мерзлоты следует делать теплые подполья.

При возведении зданий в условиях уничтожения вечной мерзлоты следует принять меры к возможно большему осушению грунта возле зданий. При строительстве по двум другим методам осушение допустимо лишь постольку, поскольку оно не идет вразрез с мероприятиями по сохранению режима вечной мерзлоты и по замедлению ее оттаивания.

Фундаменты должны быть проверены на растяжение при пучении.

Сваи в пределах деятельного слоя необходимо гладко оструть и смазать смолой, дегтем, мазутом или нефтью. Полезно все большие щели в стволе сваи перед обмазкой затереть замазкой. Вокруг свай грунт деятельного слоя желательно выбрать на ширину 1,0—1,5 *м* и заменить слоем гальки крупностью 5—10 *см* и слоем песка, уложенными в деревянных досчатых рамах без дна. Во время засыпки котлована на заполненную засыпкой раму, вытой в ширину доски, укладывают следующую и т. д. Перед засыпкой котлована дно его рекомендуется выстлать слоем мха, торфа и т. п. толщиной в 25—30 *см*. Сверху котлован, не заполненный на 0,6 *м* до уровня земли, прикрывается слоем мха, торфа или соломы в 20—30 *см* и досыпается хорошо утрамбованным местным грунтом. Эскиз примерного устройства засыпки показан на фиг. 103.

ОСТ 90032—39 дает следующие подробные указания по рассматриваемому вопросу.

§ 34. При возведении сооружений должно быть обращено особое внимание на предохранение фундаментов и сооружения в целом от деформаций под влиянием сил пучения и наледных явлений, для чего рекомендуются следующие мероприятия:

а) осушение местности посредством планировки участка; устройство отмостки вокруг сооружений; быстрый отвод атмосферных вод лотками и мощеными канавами; устройство дренажей с обеспечением последних от замерзания и т. п.;

б) устройство поверхностных теплоизоляционных слоев около фундаментов с целью уменьшения мощности деятельного слоя;

в) устранение или ослабление проявлений гидростатического и гидродинамического давлений путем глубокого дренирования вод, устройства мерзлотных поясов и перемычек.

§ 35. Для снижения сил смерзания деятельного слоя с телом фундамента рекомендуется:

а) засыпка котлована вокруг фундамента крупнозернистыми и непучинистыми грунтами и материалами, как то: галькой, щебенкой, крупным песком; засыпка должна быть защищена от заиливания и хорошо дренирована;

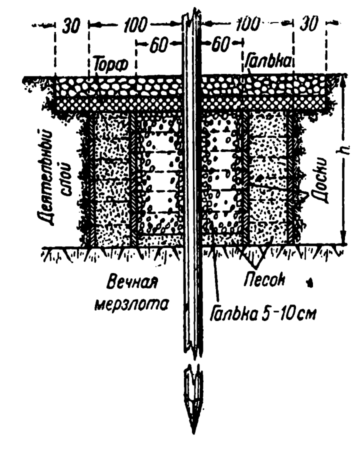
б) устройство столбовых фундаментов с гладкой поверхностью и с наклонными (не более 70° к горизонту) гранями; затирка и железнение поверхности фундамента, острожка деревянных свай и стоек.

§ 36. Фундаменты сооружений должны быть рассчитаны на сопротивление выдергиванию их из грунта и на разрыв силами смерзания. При определении

Таблица 3

Допускаемые напряжения на срез для мерзлых мелкозернистых супесчаных пылевато-илистых и глинистых грунтов

Температура грунта в градусах	Допускаемое напряжение в *кг/см²*
0	0,5
—0,5	1,5
—1,0	2,5
—1,5	3,5
—2,0	5,0



Фиг. 103. Устройство засыпки вокруг сваи при обильных влажных илистых грунтах деятельного слоя.

сил, выдергивающих при смерзании и удерживающих фундаменты от выпирания, напряжения принимаются по табл. 3 и 4.

Таблица 4

Напряжения, возникающие при смерзании грунта с фундаментами в *кг/см²*

Наименование смерзающихся поверхностей	Температура —1°				Температура —10°			
	Степень льдонасыщенности							
	0,25	0,50	0,75	1 до 1,4	0,25	0,50	0,75	1 до 1,4
Мелкозернистые, супесчаные, суглинистые, глинистые, пылеватые и илистые грунты с деревом	2	3	4	6	3	7	13	16
То же с бетоном .	1	2	4	5	7	10	13	16

Примечания: 1. Напряжения при смерзании для других температур и льдонасыщенности определяются по интерполяции.

2. Напряжение при смерзании гальки, защищенной от заиливания, при условии свободного вытекания из нее воды, принимается равным 0,4 *кг/см²* для случая смерзания как с деревом, так и с бетоном.

3. Степень льдонасыщенности определяется приближенно по формуле:

$$I = \frac{W}{W_п},$$

где W — весовое содержание льда (воды) в грунте (влажность мерзлого грунта);

$W_н$ — полная влагоемкость того же грунта после оттаивания.

4. При проверке фундаментов на разрыв по приведенным в таблице значениям напряжений при смерзании допускается исходить из временного сопротивления материала фундамента на растяжение без введения коэфициента запаса.

§ 37. Для противодействия выдергиванию фундаментов силами смерзания 11, п. «а») рекомендуется:

а) уменьшать число фундаментных столбов за счет увеличения нагрузки каждый столб и по возможности уменьшать их сечение в пределах деятельно слоя для уменьшения поверхности смерзания;

б) заанкеривать фундаменты в слоях грунта ниже деятельного слоя, заубляя их (по расчету) в толщу вечной мерзлоты или талого слоя;

в) придавать фундаментам конструкцию, способную сопротивляться тягивающим усилиям, возникающим при выпучивании.

§ 38. В качестве конструктивных мероприятий для предотвращения дефорций зданий от возможного горизонтального пучения, при пучинистых грун и высоком стоянии грунтовых вод, особенно при наличии подвалов, комендуется:

а) уменьшать пролет между поперечными стенами, добавляя в случае набности в промежутках между ними контрфорсы, распорные фундаменты или сткие прогоны;

б) усиливать фундаменты укладкой жестких железобетонных поясов.

4 УКАЗАНИЯ И СООБРАЖЕНИЯ ОБ УСТОЙЧИВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ДОРОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1. Общие замечания

При проектировании и постройке искусственных сооружений обходимо твердо усвоить, что их устойчивость может быть доигнута только применением комплекса различных мероприятий, именно — надлежащим выбором места, конструкции, материала и плоизоляционных мероприятий, а также правильным технологиским процессом возведения сооружений.

Выбор места для сооружения составляет особую задачу. При іборе места для искусственного сооружения должен быть учтен сь комплекс топографических, геологических, гидрогеологичеих, мерзлотных и грунтовых условий. Именно, необходимо стреться располагать сооружения в местах выхода на поверхность и неглубокого залегания коренных скальных пород, в местах заганя в деятельном слое крупнозернистых пород или плотной ирной глины, с более глубоким положением верхней границы чной мерзлоты, а еще лучше в местах, где мерзлота отсутствует. сположения искусственных сооружений над погребенным льдом льзя допускать, так как это приведет к протаиванию льда и деформации сооружения.

При назначении места перехода рекомендуется пересекать реки местах одного глубокого русла с высокими берегами без островв и староречий на пойме. Переходы в пределах перекатов нелательны ввиду преимущественного образования речных наледей в этих местах, что небезопасно для моста и подходов к нему.

В районе вечной мерзлоты не следует устраивать длинные водоводы для направления воды из нескольких логов в одно искусственное сооружение. Такие водоотводы допустимы лишь в сплошых скальных грунтах для сравнительно небольших расходов.

Длинные водоотводы нежелательны по целому ряду соображений. Во-первых, в условиях вечной мерзлоты всякий водоотвод нарушает существующий режим вечной мерзлоты. Во-вторых, водоотводным канавам приходится придавать пологие откосы и, несмотря на это, при эксплоатации их трудно содержать в исправ-

ности. В-третьих, в условиях вечной мерзлоты очень трудно устроить целесообразное укрепление водоотводов.

Для уменьшения вредного влияния воды на устойчивость режима вечной мерзлоты следует избегать устройства глубоких водоотводов, а также проектирования углубленных русел у всех малых искусственных сооружений, если сооружение проектируется по принципу сохранения слоя вечной мерзлоты в основании опор.

Что касается определения отверстия искусственного сооружения, то отверстия больших и средних мостов назначаются на основании обычных гидрометрических изысканий. Отверстия малых искусственных сооружений могут рассчитываться по существующим техническим условиям, при обязательном определении специальными обследованиями всех климатических и метеорологических особенностей данного района и факторов, влияющих на сток. При этом, ввиду чрезвычайно сильного влияния на режим вечной мерзлоты скоплений больших масс воды, не следует при расчете отверстий допускать больших и длительных подпоров воды с верховой стороны полотна.

Очень важно отметить, что расчет отверстий малых искусственных сооружений в условиях вечной мерзлоты сильно осложняется, с одной стороны, малой интенсивностью впитывания воды грунтом (за исключением марей), в известные периоды года не успевающим оттаять, в другие периоды сильно переувлажненным; с другой стороны — трудно учитываемым разнообразием скорости стекания в зависимости от поверхностного покрова, не остающегося неизменным даже в ближайшие годы жизни дорог.

Помимо этого надо иметь в виду, что в районах, занятых вечной мерзлотой, нет никаких данных о режиме даже довольно значительных рек. Само собой разумеется, что нет сведений гидрометрического характера о небольших водотоках и о небольших реках. Вследствие этого о расходах рек, которые следует принять за расчетные, не будет ничего известно, за исключением, может быть, наблюдений за 2—3 года, прошедших с момента начала изысканий и до постройки, а этого без сомнения недостаточно для правильного проектирования.

Исходя из этих соображений, пожалуй, более правильно строить при сооружении дороги временные деревянные мосты везде, где по местным условиям нельзя получить вполне определенных данных для расчета по обычным формулам, за исключением случаев, когда временные деревянные сооружения не допускаются соответствующими специальными распоряжениями. Наблюдения, в течение ряда лет при эксплоатации дороги, за проходами ливневых вод в этих сооружениях дадут все необходимые данные для точного расчета отверстия и для выбора типа постоянного сооружения.

Далее, при установлении отверстий малых искусственных сооружений и при разбивке на отдельные пролеты отверстий средних и больших мостов, необходимо учитывать, что в районе вечной мерзлоты речки и реки, в бассейнах которых имеются лесные массивы, несут во время паводков большое количество карчей, т. е. вырванных с корнем деревьев, могущих перегородить и забить малые пролеты.

С другой стороны, как показывает опыт, наиболее часто деформациям, особенно вследствие пучения, подвергаются опоры малых стов с пролетами меньше 20—25 м и тем сильнее, чем меньше олет. Вследствие этого желательно не назначать небольших прогов, когда это окажется возможным с технической и экономичеэй точек зрения.

Желательными минимальными пролетами многопролетных мовв следует считать при металлических пролетных строениях проты не менее 21—23 м, а при железобетонных — 12—14 м. Эти ичины определяются существующими типовыми пролетными оениями и соображениями о весе опор и о нагрузках на них.

Разница в величинах пролетов для металлических и железобеных пролетных строений взята из того соображения, чтобы вес оры плюс вес пролетного строения, приходящийся на опору, в их случаях получался более или менее одинаковым на единицу ощади, в соответствии с размерами опор в плане.

Весьма целесообразно избегать многопролетных мостов с неьшими пролетами, заменяя их однопролетными на обсыпных оях. Конечно, это надо делать тогда, когда однопролетный мост будет чрезмерно дорог и неудобен по соображениям подхода. в тяжелых мерзлотных условиях нужно помнить, что пожалуй однее иметь несколько более дорогое сооружение, но зато обесенное от деформаций. Практика строительства мостов в услох вечной мерзлоты не знает деформаций обсыпных устоев.

В отношении мостов больших пролетов отмечается, что такие ты не подвергаются деформациям; опоры их не выпучиваются, оседают и не наклоняются.

Обращаясь к вопросу о выборе типа искусственного сооруже, можно указать, что в зависимости от местных условий, эконоеских соображений и мерзлотно-грунтовых данных могут быть менены следующие искусственные сооружения: фильтрующие ыпи, трубы, мосты свайные, мосты на ряжевых опорах и мосты массивных опорах.

Фильтрующие насыпи допустимо применять на сухих логах, при ичии условий, обеспечивающих их от заиливания и завала буреюм, для замены мелких искусственных сооружений с расчетным ходом около 5—10 $м^3$.

Фильтрующие насыпи предлагаются не только по известным бражениям технической целесообразности и экономической вындости, что в каждом отдельном случае должно быть тщательно уждено, но и на основании некоторого опыта постройки тає насыпей на головном участке одной магистрали, давшего влетворительные результаты, как это указывает инж. Коько. Тем не менее, ввиду сравнительной краткости периода цествования этих насыпей, данные об их работе не могут счиься окончательными. Поэтому применение фильтрующих насы взамен искусственных сооружений должно быть обусловлено олнением целого ряда требований, приведенных далее; смягчеэтих требований возможно лишь в дальнейшем при получении олнительных и более точных данных о фильтрующих насыпях. Трубы нежелательны в местах, где могут образоваться наледи.

На мокрых логах и на постоянно действующих потоках при наличии подруслового течения трубы не рекомендуется проектировать отверстием менее 2 *м*. Здесь надо указать, что хотя трубы деформируются не реже, чем мосты, но их деформации не столь сильно отражаются на полотне и не так препятствуют эксплоатации дороги, как деформации мостов.

В случае невозможности точного установления отверстия моста вследствие малой изученности района и особенно бассейна потока и его режима, рациональнее применять деревянные мосты в соответствии со сказанным выше.

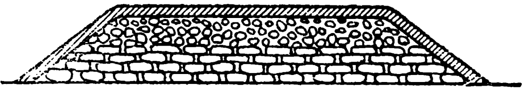
Деревянные свайные мосты допустимы как при наличии мерзлоты, так и при отсутствии ее, но при обязательном условии обеспечения опор от выпучивания.

Железобетонные и металлические мосты при сильно пучинистых грунтах рекомендуется делать с обсыпными устоями. Каменные мосты приемлемы только при скальном основании.

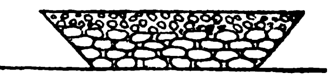
Если имеется неглубоко залегающая скала, то целесообразно применять мосты с массивными опорами, а в случае невозможности установления размера отверстия, в этих же условиях можно строить деревянные мосты на ряжевых опорах. Деревянные мосты на лежнях обычной конструкции негодны в условиях вечной мерзлоты вследствие значительных и неизбежных деформаций. Предупреждение деформаций мостов на лежнях требует весьма сложных и дорогих мероприятий. При сливающейся, а также при слоистой мерзлоте можно делать деревянные мосты на сваях, забитых в грунт при помощи паровой иглы, или деревянные мосты на ряжевых опорах. В этих же условиях, при надлежащем расчете отверстий, пригодны мосты с массивными опорами.

2. Устройство фильтрующих насыпей

Фильтрующая насыпь выкладывается из камня. Размеры и форма ее определяются гидравлическим расчетом. Общий вид



Фиг. 104. Целесообразное устройство фильтрующей насыпи.



Фиг. 105. Неправильное устройство фильтрующей насыпи.

фильтрующих насыпей, примененных на одной из новых дорог, показан на фиг. 104. Насыпям была придана указанная форма вследствие того, что при иной форме (фиг. 105) каменная кладка, уложенная на земляное тело остальной части всей насыпи, своим весом сильно деформирует ее в период весеннего оттаивания мерзлых откосов.

Камень, служащий материалом для насыпи, должен быть морозоупорным, что следует установить соответствующим испытанием камня на многократное замораживание по существующим правилам. Размер камней, укладываемых в фильтрующую насыпь, дол-

і быть более или менее однообразным. Рекомендуется приме-ь камни диаметром не менее 30 *см* (весом от 40 до 80 *кг*). мер камней должен быть связан с гидравлическим расчетом. ювание для фильтрующей насыпи на косогорах обрабатывается упами. Уступы заполняются сухой каменной кладкой на мху.

Возведение фильтрующей насыпи рационально выполнять сле-)щим образом. Одномерные, по возможности, камни вкладыва-:я поперечными рядами с просветами между рядами от 5 до *см*, перекрываемыми верхними рядами камней. Камни уклады-тся постелями, в перевязку, в возможно более устойчивом по-кении, и кладка имеет вид сот. Такая кладка выводится на вы-у предполагаемого подпора, но не менее четырех рядов.

Верхний ряд каменной кладки засыпается слоем мелкого камня щиной в 50 *см*, не проваливающегося в пустоты между уложен-и камнями кладки. По слою мелкого камня располагается слой кой гальки, щебня или гравия толщиной около 50—80 *см*. Этот й в свою очередь прикрывается сверху слоем мха или торфа щиной 25—30 *см*. На слой мха или торфа насыпается до проект-высоты грунт верхней части насыпи. Боковые грани фильтрую-й насыпи со стороны земляного продолжения всей насыпи тоже крываются сверху слоем мха или торфа толщиной 25—30 *см*.

Русло около фильтрующей насыпи укрепляется мостовой в со-етствии с расчетными скоростями и местными особенностями.

избежание заиливания фильтрующей части насыпи следует раивать илоудерживающие сооружения в виде плетня, вала из ня, фашин и т. д.

На участках, где возможно образование наледей, фильтрующие ыпи непригодны.

3. Устройство труб

Трубы могут быть железобетонные, бетонные и каменные. териал выбирается в зависимости от наличия его на месте, с том обычных технических соображений и специальных мерзлот-х условий.

Рекомендуется применять трубы с наклонными оголовками (во-тиками) без откосных крыльев. При наличии в месте постройки чинистых грунтов, не песчаных и не гравелистых, целесообразно именять железобетонные трубы.

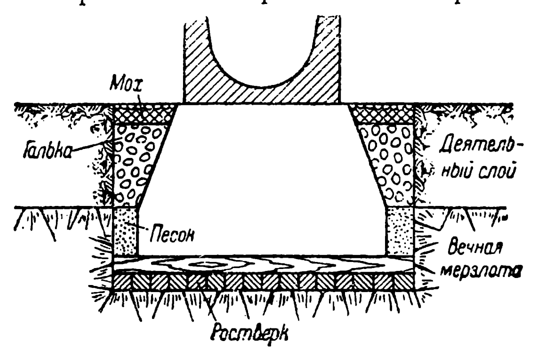
Фундаменты необходимо делать прямоугольными в плане, и при сыпи высотой менее 5 *м* — уширяющимися книзу, т. е. с боковыми анями, наклонными под углом не круче 80° (фиг. 106). Наклон-е грани фундамента полезно гладко затереть и смазать нефтью, итом, смолой и т. д. При высоких насыпях (более 5 *м*) такие ундаменты можно устраивать только под крайними звеньями и д оголовками трубы, тогда как средняя часть фундаментов де-ется обычного типа.

Если высота насыпи менее 3 *м*, под фундаментами всех звеньев убы при наличии мерзлоты необходимо укладывать ростверк из ух рядов перекрестно уложенных деревянных брусьев размером оло 16 × 16 *см*. Ростверк располагается на возможно более тон-

ком слое чистого песка, служащего для выравнивания дна котлована. При насыпях высотой более 3 *м* ростверк допустимо устраивать только под крайними звеньями и под оголовками трубы.

В случае устройства трубы в местности с пучинистыми обильно влажными грунтами, местный грунт вокруг фундамента оголовка и крайних звеньев трубы желательно выбрать и заменить пролитой мазутом галькой крупностью 5 *см*. Ширина слоя засыпки галькой назначается не менее 1,00 *м*. Засыпку рекомендуется предохранять от заиливания песчаным слоем. При низких насыпях указанную галечную засыпку вокруг фундаментов полезно делать для всех звеньев трубы.

Если мерзлота отсутствует или лежит очень глубоко, то глубина заложения фундаментов для труб определяется обычными соображениями. При наличии мерзлоты непосредственно под деятельным слоем глубина заложения фундаментов под оголовки и крайние звенья назначается не меньше толщины деятельного слоя (последнюю определяют в местах с оголенной поверхностью почвы) плюс 1,0—1,5 *м* заглубления в слой мерзлоты включая ростверк и подсыпку песком. Под средними звеньями трубы, при бетонных или бутовых фундаментах, глубина заложения назначается по предыдущему, но с заглублением в слой мерзлоты на 0,50 *м*.



Фиг. 106. Фундамент под крайние звенья трубы при пучинистом деятельном слое.

Если труба имеет мощную армированную плиту толщиной около 0,50 *м*, то может быть принята меньшая глубина заложения фундаментов под средние звенья. В этом последнем случае, независимо от высоты насыпи, ростверк нужно устроить под всей трубой.

Значение деревянного ростверка под фундаментом труб двоякое:

1) ростверк, будучи сделан из нетеплопроводного материала, предохраняет грунт под основанием от оттаивания во время производства работ;

2) ростверк в случае, если грунт оттает позже, будет способствовать равномерному распределению давления на основание и улучшит сопротивление сооружения деформациям.

В известной мере ростверк может служить и термоизоляцией.

Обсыпка фундаментов труб галькой рекомендуется как дополнительная мера против выпучивания фундамента, и хотя в последнее время такая засыпка начинает терять у строителей доверие как мера против выпучивания, все же она не бесполезна. Естественно, что в тех случаях, когда устройство такой засыпки представляет большие затруднения или будет стоить очень дорого, ее

жно заменить гравием, песком или шлаком или даже не устраить вовсе.

Опалубку для фундаментов снимать не рекомендуется. Ее лучше гавить на месте в земле.

4. Устройство деревянных эстакад и мостов

При постройке деревянных эстакад и мостов целесообразно начать то или иное устройство моста в зависимости от местных ловий. В этом отношении могут быть сделаны следующие указия.

Если вечная мерзлота залегает глубоко или отсутствует в дан месте и грунты маловлажные, не пучинистые, например гравестые и крупнопесчаные, можно допустить применение балочных подкосных систем деревянных мостов. В случае высокой влажсти хотя бы и песчаных грунтов деятельного слоя, подкосные особенно многоподкосные системы применять не следует, незасимо от наличия или отсутствия вечной мерзлоты. При глинистых, глинистых, супесчаных и мелкопесчаных влажных грунтах деяльного слоя можно строить только свайные балочные мосты.

Ограничение в применении подкосных мостов вызвано теми соражениями, что небольшие выпучивания или осадки опоры дкосного моста неминуемо влекут за собой расстройство его нструкции и вызывают в отдельных частях его напряжения, прешающие расчетные. Вследствие этого возникают деформации, епятствующие движению по мосту, а иногда приводящие к полму его разрушению.

При неглубоком залегании слоя вечной мерзлоты непосредзенно под деятельным слоем могут быть применены свайные и дкосные балочные мосты со сваями, забитыми в грунт с пощью паровой иглы, а также балочные мосты на низких ряжах. я уменьшения прочности смерзания деятельного слоя со сваями обходимо принять меры, указанные ниже.

В условиях неглубоко залегающей скалы деревянные мосты не комендуются, а в случае необходимости их следует устраивать ряжах или каменных опорах.

Эстакады и мосты на лежнях обычного типа нельзя допускать районах вечной мерзлоты при влажных грунтах, так как все они льно деформируются. Опоры на лежнях неприемлемы и в учае неглубоко залегающей скалы. Неглубокое залегание скалы допускает забивки свай. Устраивать же в данном случае нструкцию опор на лежнях затруднительно ввиду необходимости еть специальное приспособление для скрепления лежней со скай в виде анкеров и т. п., что сложно, дорого и ненадежно.

Что касается конструкций деревянных мостов, эстакад и друх конструкций на сваях, то они не отличаются от обычных, за ключением устройства свайных опор, которые должны быть сделы с соблюдением некоторых особых условий.

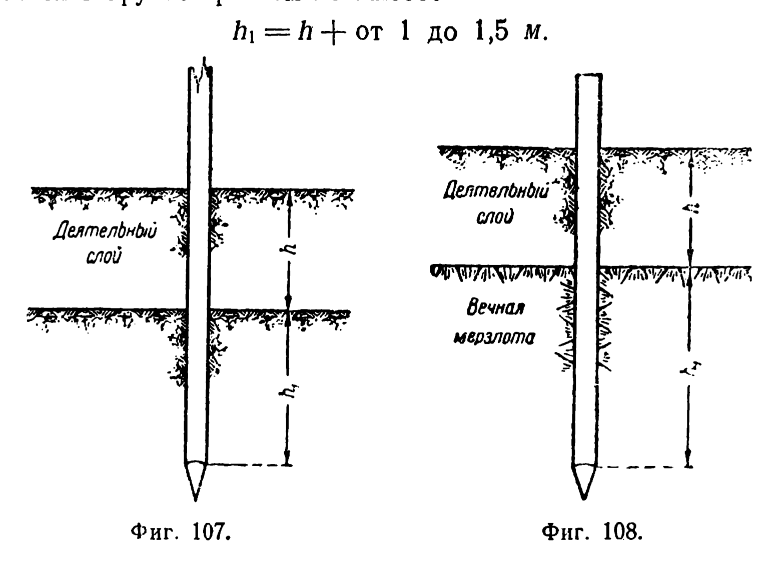
Необходимо различать два случая: 1) сваи забиваются в талый унт, т. е. вечная мерзлота отсутствует и 2) сваи опущены в слой чной мерзлоты. В обоих случаях сваям грозит опасность выпувания вследствие пучения деятельного слоя. Эта опасность

больше при глинистых, иловатых и пылеватых грунтах и несколько меньше при хорошо дренирующих грунтах, но в общем определяется степенью влажности почвы. Грунты, увлажненные до предела полной влагоемкости, и особенно переувлажненные, являются наиболее угрожающими.

При отсутствии слоя вечной мерзлоты или при глубоком залегании его сваи, во избежание выпучивания, должны быть забиты в грунт не менее чем на удвоенную высоту h деятельного слоя плюс 1—1,5 *м* (фиг. 107) и проверены расчетом на выдергивание, исходя из того соображения, что сила N, выпучивающая сваю, не должна превосходить некоторой удерживающей силы ΣS.

Последняя определяется обычным расчетом несущей способности сваи[1] в зависимости от вида грунта, считая, что свая удерживается в грунте трением по высоте

$$h_1 = h + \text{от 1 до 1,5 } м.$$



Фиг. 107. Фиг. 108.

Иначе говоря, предполагается, что свая защемлена в слое грунта h_1, лежащем ниже деятельного пучащего слоя. В расчете целесообразно учесть, что известная доля выпучивающего усилия N погашается весом сваи и приходящейся на нее постоянной нагрузкой, равной некоторой величине Q. Условие устойчивости сваи следующее:

$$N \leqslant S_1 + Q,$$

где S_1 — сила, определяемая прочностью заделки сваи в слое высотой h_1.

Допускаемая вертикальная нагрузка, временная и постоянная, устанавливается обычным способом пробной забивкой свай и соответствующим общеизвестным расчетом, и не должна превосходить величины, установленной обычными нормами.

---

[1] Б. Д. Васильев, Основания и фундаменты, Госстройиздат, 1937.
А. В. Паталеев, С. Я. Боженков и А. А. Бирюков, Механика грунтов, основания и фундаменты, часть II, Трансжелдориздат, 1938.

Если имеет место второй случай, когда свая опущена в слой ечной мерзлоты (фиг. 108), то здесь выпучиванию сваи препятвует смерзание ствола сваи с мерзлым грунтом на протяжении h_1. оэтому заглубление сваи в слой вечной мерзлоты тоже требует счета, но должно быть не меньше высоты деятельного слоя юс 1—1,5 *м*. Необходимо чтобы сила, выпучивающая сваю (§ 5, 1), не превосходила прочности смерзания поверхности сваи со юем вечной мерзлоты по высоте h_1. Можно учесть при этом поянную нагрузку. Условие устойчивости сваи следующее:

$$N \leqslant h_1 p \cdot \tau + Q,$$

де p — периметр сваи;

τ — величина напряжения, определяемого по ОСТ 90032—39 (§ 13, п. 5, таблица ОСТ);

Q — постоянная нагрузка на сваю, включая вес сваи.

Мощность деятельного слоя для этих расчетов должна быть пределена исследованиями на месте постройки сооружения при голенной поверхности почвы. Сваи лучше забивать комлем вниз, ак как это несколько повысит их сопротивление выдергиванию.

Стыки свай в пределах деятельного слоя нельзя делать вследтвие того, что их может разорвать при пучении деятельного слоя фиг. 32).

С целью уменьшения прочности смерзания грунта деятельного лоя со стволом сваи можно советовать принимать в подходящих лучаях следующие меры. Сваи в пределах деятельного слоя необходимо гладко острогать и смазать смолой, дегтем, мазутом или нефтью, замазав щели в стволе. Вокруг свай сверху рекомендуется устроить подушку из торфа толщиною 30 *см* и шириною 2,0 *м*, прикрытую слоем местного грунта.

Для свай, стоящих в пределах конуса насыпи и защищенных слоем грунта не менее 2,0 *м*, а также для свай, стоящих в непромерзающем русле или хотя бы и в промерзающем потоке, но с дном, сложенным из хорошо дренирующих грунтов (гравия или крупного и среднего незаиленного песка), указанные меры можно не принимать.

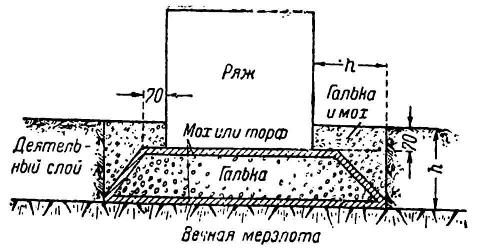
Ряжевые опоры могут служить как для непосредственной укладки деревянного пролетного строения, так и для установки на них опорных рам. Ряжи рекомендуется устраивать так, как сказано ниже.

Наружные углы ряжа в пределах заглубления его в грунт необходимо срубить в лапу, а бревна нижних венцов в пределах грунта обтесать снаружи на один кант и обшить досками так, чтобы получилась возможно более гладкая поверхность. Внутри ряжа должен быть ряд поперечных и продольных бревен-распорок, врубленных в венцы его стен.

Венцы ряжей, заглубленные в грунт, следует стянуть вертикальными болтами диаметром 20 *мм*, поставленными через каждые 0,75—1,0 *м*. Вертикальные сжимы изнутри ряжа надо ставить от низа до верха. Наружные сжимы лучше поставить только выше заглубления ряжа в грунт.

При установке ряжей весь деятельный слой до поверхности вечной мерзлоты или скалы, а при отсутствии того или другого на глубину зимнего промерзания, необходимо выбрать и заменить подсыпкой из камня или гальки крупностью в среднем 5—10 *см*. Котлован отрывается больше ряжа настолько, чтобы галечная подсыпка имела откосы не круче 45° (фиг. 109). Откосы галечной подсыпки следует прикрыть слоем мха или торфа толщиной 30 *см* и остальную часть котлована засыпать галькой, смешанной со мхом или с торфом. Засыпка котлована с боков ряжа может быть устроена из шлака или гравия.

Низ ряжа должен быть помещен на глубине не более 0,70 *м* от поверхности земли. При установке ряжа поверхность галечного заполнения котлована выравнивается мелким камнем, затем сверху слоем мха, торфа и т. п. и слоем гравия или крупного песка, на котором и располагаются нижние венцы ряжа.



Фиг. 109. Ряжевая опора.

Заполнение ряжа делается камнем и галькой различной крупности, и для увеличения веса ряжа — гравием, хрящем или даже песком. Через каждые 0,50—0,75 *м* по высоте ряжа, если ряж расположен на слое мерзлоты, рекомендуется класть прослойки в 20—30 *см* мха, торфа, соломы или другого нетеплопроводного материала.

При постройке ряжевых опор следует принимать меры для уменьшения прочности смерзания ряжей с грунтом и устраивать приспособления для регулирования высоты расположения пролетного строения.

5. Устройство массивных опор

Деформации массивных опор происходят, по преимуществу, вследствие протаивания слоя вечной мерзлоты в основании опор и в результате пучения деятельного слоя. Поэтому при назначении устройств опор необходимо учитывать мерзлотные условия на месте постройки и считаться с качеством грунтов и их влажностью.

Для удобства рассмотрения всех этих вопросов в дальнейшем все устройства подразделены на несколько случаев, причем для каждого из них указываются наиболее целесообразные типы опор, для того чтобы наилучшим образом согласовать те или иные устройства и конструкции с возможными условиями строительства.

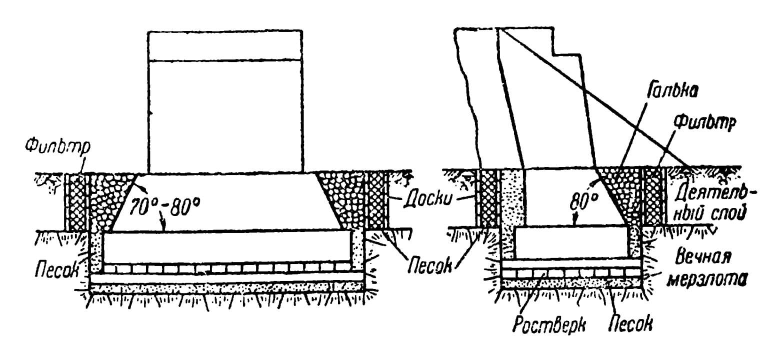
А. Массивные опоры мостов при отсутствии или при глубоком залегании слоя вечной мерзлоты

При отсутствии или при глубоком залегании вечной мерзлоты, в случае наличия в деятельном слое хорошо дренирующих грунтов, галечных, гравелистых, крупно- и среднезернистых песчаных, а также при скальном основании, можно допускать устройство мас-

івных опор любого типа без ограничения пролетов, за исключе- ıем устоев с обратными стенками, так как последние часто и ıльно деформируются.

В случае глинистых и мелкопесчаных грунтов, особенно обильно ıажных, илистых и плывучих, рекомендуется проектировать ма- ıе мосты (отверстием до 21—23 *м*, а при железобетонных про- тных строениях отверстием до 12—14 *м*) без промежуточных ор, т. е. без быков. Для этих условий следует применять одно- олетные мосты в соответствии с типовыми пролетными строе- ями на одних только устоях. Устои рекомендуются обсыпные иг. 110).

При условии расположения быков в русле с наименьшим слоем ды в 2,00 *м*, хотя бы и промерзающим зимой, а также при рошо дренирующих грунтах, можно применять многопролетные сты малых пролетов (менее 23 *м* и соответственно при железо- тонном пролетном строении менее 12 *м*). При глинистых и мелко- счаных грунтах, особенно обильно влажных, илистых и плывучих,



Фиг. 110. Обсыпной устой.

ɔмежуточные опоры малых мостов (с пролетами менее 23 *м* и ɔтветственно 12 *м*) следует допускать в исключительных слу- ıх, при полной невозможности применить однопролетный мост. ıки должны быть (согласно указаниям § 5, п. 1) способны сопро- вляться выпучивающим усилиям. Такие же быки для этих мо- ɔв целесообразно устраивать и в промерзающем русле реки, ɔженном из загрязненных мелкопесчаных, глинистых или или- ых грунтов, а также и при расположении быков на пойме.

Быки, поставленные в непромерзающий поток, могут быть про- вольного типа, но по возможности без ледореза или с ледорезом нимальной длины.

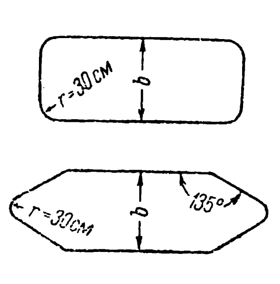
Опоры мостов с большими пролетами, свыше 55 *м*, при любых унтах могут быть сделаны любого типа, кроме устоев с обрат- ми стенками.

Для мостов малого пролета (до 23 *м*, а при железобетонном олетном строении до 12 *м*) выше были рекомендованы обсыпные тои. Обсыпные устои делаются обычного типа, за исключением сти устоя в пределах деятельного слоя, которую необходимо лать бетонной или бутобетонной. Передняя и боковые грани

фундамента устоя должны иметь наклон максимум 80°. Задняя грань может быть отвесной (фиг. 110). Для уменьшения прочности смерзания деятельного слоя с телом опоры вся поверхность фундамента в пределах деятельного слоя должна быть гладко затерта цементным раствором. Выше обреза фундамента устой может быть возведен из бута, бетона или бутобетона. Глубина заложения определяется на основании обычных соображений.

Устои мостов с пролетами более 23 *м* и, соответственно, более 12 *м* при отсутствии пучинистых грунтов могут быть сделаны и необсыпными.

Быки для мостов с пролетами до 23 *м*, а при железобетонных пролетных строениях до 12 *м*, в случае возведения их на пойме, а также и в русле, но при очень небольшой глубине потока, сплошь промерзающего зимой, и при пучинистых грунтах можно устраивать прямоугольными в плане, но с закругленными углами радиусом 30 *см* или с треугольным носом и кормой (фиг. 111), тоже закругленными. Для обеспечения быков от влияния пучения деятельного слоя целесообразно боковые грани быка в пределах деятельного слоя делать наклонными под углом 80°, гладкими и затертыми цементным раствором. Вокруг быка желательно устраивать галечную засыпку.



Фиг. 111. Целесообразная форма быков.

Тело быка, кроме фундамента его, может быть сделано из любого обычно применяемого материала.

Если ожидается проявление значительных выпучивающих сил, то часть быка, заглубленная в грунт, должна быть бетонная или бутобетонная, армированная вертикальной арматурой во избежание разрыва кладки при пучении. Арматура располагается вдоль наружных граней фундамента и связывается распределителями. Расчет армирования следует сделать в соответствии со сказанным в § 5, п. 1.

Быки мостов малых пролетов, пролетом менее 23 *м* и, соответственно, при железобетонном пролетном строении менее 12 *м*, расположенные на пойме, при мощном деятельном слое глубиной более 2,00 *м* и особенно при низких насыпях, менее 5 *м*, и илистых и плывучих сильно пучинистых грунтах деятельного слоя, следует возводить, во избежание выпучивания, на сваях или на опускных колодцах.

Свайное основание устраивается так, чтобы сваи не могли быть выдернуты из грунта пучением деятельного слоя и не могло быть нарушено сцепление свай с бетонным фундаментом, что необходимо проверить расчетом.

Кроме свай забивных, деревянных и железобетонных, могут быть применены сваи набивные бетонные (например Штрауса), армированные продольной арматурой для восприятия растяжения при выпучивании опоры, но лишь в том случае, если температура грунта у подошвы сваи будет не ниже +5° или если при более

зкой температуре, но не ниже +0,5°, будут приняты меры, обеспечивающие схватывание и твердение бетона.

Опоры мостов большого пролета, более 55 *м*, могут быть сделаны произвольного типа.

При устройстве свайных оснований и опускных колодцев рекомендуется учитывать следующие указания.

При железобетонных забивных сваях продольная арматура ай заводится в тело фундамента опоры на 30d, где d — диаметр ержня. Для этого голова сваи после забивки должна быть разта (сколота) и арматура обнажена. Головы деревянных свай лжны заходить не менее чем на 1,0 *м* в бетонную подушку оры, и на этой длине ствол сваи следует нарубить бороздками убиной 2,5 *см*, расположенными через 20 *см*. При условии уставки по сваям схваток на врубках и болтах, головы свай можно вести в тело фундамента на 60 *см*. Допускаемое напряжение епления бетона с деревом можно принимать равным 5 *кг*/*см*^{2}.

В том случае, когда свайное основание выполнено при помощи ровой иглы и, после восстановления протаянной мерзлоты, служит для воспрепятствования выпучиванию опоры, железобетонные деревянные забивные сваи должны быть рассчитаны на выдергиние и на сцепление с фундаментом. Расчет производится в соответствии с указаниями § 5, п. 1.

Опускные колодцы предпочтительно делать деревянными или тонными армированными. Каменные колодцы непригодны. асчет колодцев производится обычным способом. Дополнительый расчет необходим лишь для проверки растяжения в стенках элодцев, появляющегося вследствие выпучивания опоры при ощном деятельном слое.

Растягивающее усилие в стенках колодца находится на основании соображений, уже изложенных в предыдущих параграфах гой главы.

При конструировании деревянных колодцев необходимо учесть ледующие указания. Деревянный колодец следует обшивать снаужи и внутри вертикально расположенными досками. От ножа олодца и до верха его должны быть поставлены железные тяжи болты), способные принять все выпучивающее усилие, не погашеное весом опоры и постоянной нагрузкой от пролетного строения.

Б. *Массивные опоры мостов в случае заложения их на слое вечной мерзлоты*

При необходимости заложения массивных опор моста на слое вечной мерзлоты, как и в предыдущем случае, рекомендуется применять однопролетные мосты с обсыпными устоями. Если отверстие моста не превышает 23 *м*, а при железобетонном пролетном строении — 12 *м*, то промежуточные опоры (быки) для таких мостов желательно допускать как исключение.

В случае необходимости устройства быков для моста с пролетами меньше чем 23 *м* или соответственно меньше 12 *м*, устройство их должно соответствовать указанному на стр. 174, если быки располагаются на мерзлом грунте на пойме.

При наличии слоя воды не менее 2,0 *м*, хотя бы и промерзающего зимой, а также в непромерзающем русле полезно применять быки устройства, указанного на фиг. 111.

В случае опасности выпучивания опоры вследствие наличия значительного деятельного слоя из глинистого, иловатого и плывучего грунта, рекомендуется промежуточные опоры мостов малых пролетов до 23 *м*, а при железобетонных пролетных строениях до 12 *м*, закладывать на сваях или на деревянных или железобетонных опускных колодцах как при отсутствии, так и при наличии слоя вечной мерзлоты.

Свайное основание и опускные колодцы для опор мостов малых и средних пролетов рекомендуются и при заложении опор на слое вечной мерзлоты при неглубоком ее залегании, а также при возможности интенсивной деградации последней. Опускные колодцы для опор таких мостов целесообразны и в том случае, когда на небольшой глубине от поверхности земли залегает скала, независимо от наличия вечной мерзлоты в данном месте.

Опоры мостов большого пролета, т. е. свыше 55 *м*, могут быть сделаны любого типа если глубина заложения их превышает 6 *м* от поверхности земли. При меньшей глубине заложения опор следует применять обсыпные устои.

Устройство устоев и быков удобнее рассмотреть отдельно, так как каждый из этих видов опор имеет некоторые особенности, которые небесполезно учесть в целях наилучшего обеспечения их от деформаций.

а) Устройство устоев. Как уже неоднократно указывалось выше, наиболее целесообразным типом устоя в мерзлотных условиях следовало бы считать обсыпные устои. Обсыпной устой весь покрыт насыпью и вероятность протаивания мерзлоты в основании его незначительна. Обсыпные устои, при мощном слое вечной мерзлоты, сохраняемой в основании опоры, для мостов пролетом менее 21—23 *м* при металлическом пролетном строении, а при железобетонном пролетном строении до 12 *м*, можно устраивать согласно следующим указаниям.

Возведение фундаментов в предположении сохранения слоя вечной мерзлоты в основании сооружения возможно лишь в случае наличия на уровне подошвы фундамента температуры мерзлого грунта не выше —0,5° в момент наибольшего летнего протаивания грунта.

Устой должен быть заглублен в слой вечной мерзлоты на глубину не менее 1,5 *м* и подошва его должна быть расположена на ростверке из двух рядов сырых брусьев размером около 16 $\times$ 16 *см*. На ростверке следует уложить бетонную или бутобетонную подушку, прямоугольную в плане, с вертикальными гранями. Толщина подушки назначается равной заглублению в слой вечной мерзлоты (фиг. 110). Размеры фундамента в плане определяются обычным расчетом по допускаемым напряжениям, приведенным в § 13, п. Г.

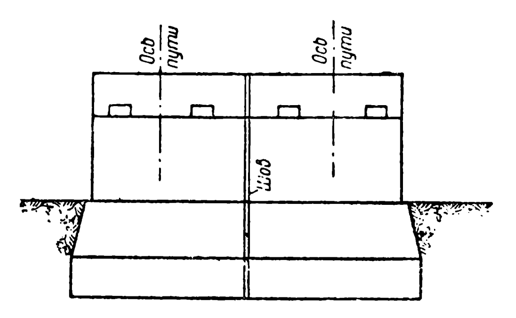
В случае деградирующей мерзлоты, при невозможности сохранения ее под подошвой фундамента, если грунт, скованный мерзлотой, не илистый, не глинистый и не плывучий, содержит влаги не

лее 30% и не включает ледяных прослоек, обсыпные устои граиваются по предыдущему, но глубина заложения опоры слой мерзлоты может быть назначена не свыше 1 *м.* Размер ндамента в плане должен быть определен по допускаемым пряжениям для талого грунта без учета мерзлоты.

Устои для двупутных мостов в этом случае, кроме того, целеэбразно рассчитать на изгиб поперек моста. В соответствии этим расчетом необходимо верх и низ устоя армировать во избе.ние разрыва кладки при неравномерном протаивании мерзлоты. счет выполняется, как сказано далее.

Устои для двупутных мостов и для этих условий возможно кже делать без армирования, но из двух отдельных массивов, зделенных вертикальным швом, как показано на фиг. 112.

При слабых грунтах слоя вечной мерзлоты, илистых и плывух, с большим содержанием воды и с наличием ледяных прослоек, гой следует возводить на свайном основании или на опускных лодцах, заглубленных в ой вечной мерзлоты при мощи паровой иглы. Если и этом деятельный слой чинистый, илистый или ывучий, обильно влажный имеет толщину более 5 *м*, необходимо позаботься о надежном соедини опоры со сваями.



Фиг. 112. Устой под два пути, разрезанный швом на две части.

При слоистой мерзлоте комендуется пройти верхй или верхние слои мерзго грунта, если мощность невелика, и заложить той на нижележащем слое талого грунта или на одном из нижх слоев вечной мерзлоты надлежащей мощности. Устройство ндамента опоры выполняется в соответствующих случаях по едыдущему.

В целях сохранения слоя вечной мерзлоты, при устойчивом реиме ее, строительные работы рекомендуется вести зимой. По ой же причине следует возможно меньше нарушать естествений режим местности у опоры, сохраняя поверхностный покров чвы и растительности.

Обсыпные устои мостов с пролетами более 23 *м*, а при железотонном пролетном строении более 12 *м*, заложенные глубже 6 *м* г поверхности земли, можно возводить обычного типа, не примая никаких особых мер, за исключением обсыпки тела опоры мнем в пределах деятельного слоя и отепления торфом или ком конуса насыпи.

При меньшей глубине заложения следует принимать меры для едохранения от пучения.

б) Устройство быков. Промежуточные опоры мостов, кладываемые на мощном слое вечной мерзлоты с устойчивым жимом, при пролетах менее 23 *м*, а при железобетонном пролет-

ном строении менее 12 *м*, можно устраивать согласно следующим указаниям.

Фундамент быка желательно заглубить в слой вечной мерзлоты не менее чем на 2 *м* и основать на деревянном ростверке, как и устой. На поверхности земли вокруг быка на пойме следует уложить подушку из каменной наброски с прослойками мха, торфа и т. п. Размеры фундамента в плане определяются обычным расчетом по допускаемым напряжениям, приведенным в § 13, п. Г.

В случае деградирующей мерзлоты, если грунт, скованный мерзлотой ниже подошвы опоры, не илистый и не плывучий, с содержанием воды не более 30%, без включений ледяных прапластков, глубину заложения быка в слой мерзлоты допустимо назначить равной 1 *м*. Если на глубине 1 *м* грунт не соответствует указанным условиям, но такой грунт залегает несколько ниже, глубину заложения следует соответственно изменить.

Размер фундамента в плане должен быть определен по допускаемым напряжениям для обычного талого грунта без учета мерзлоты. Быки для двупутных мостов в аналогичных условиях необходимо рассчитывать на изгиб или делать из двух отдельных массивов (фиг. 112).

Если грунты слоя деградирующей вечной мерзлоты слабые, илистые и плывучие, с большим содержанием воды и включают ледяные пропластки, лучше быки возводить на свайном основании или на опускных колодцах, согласно предыдущим указаниям по этому поводу.

При слоистой, а также при деградирующей мерзлоте, в подходящих случаях и при надлежащем экономическом оправдании можно применять заложение опор, уничтожая слой вечной мерзлоты пропариванием грунта, паровыми иглами, в соответствии с соображениями, изложенными в § 13, п. 4. Размеры фундамента в таком случае надо определять по допускаемым напряжениям для талого грунта.

При значительных размерах деятельного слоя и значительной влажности грунтов опору надлежит проверять расчетом на выпучивание.

Быки мостов с пролетами более 23 *м* и, соответственно, более 12 *м*, заложенные на глубину более 6 *м* от поверхности земли, могут быть построены обычного типа при условии заглубления фундамента на 2 *м* в слой вечной мерзлоты.

в) Замечания о расчете устоев и быков. Фундаменты опор, заложенные на слое вечной мерзлоты с температурой, близкой к 0° и не ниже —0,5°, необходимо рассчитывать в предположении возможного протаивания слоя мерзлоты. В таком случае для определения площади основания принимаются допускаемые напряжения, определенные для оттаявшего грунта для данного сооружения на месте постройки опытным путем.

Для предварительных расчетов можно пользоваться в этом отношении указаниями о вычислении допускаемых напряжений, сделанными в § 13. п. 3. Так как теоретическое определение допускаемых напряжений для глин и глинистых грунтов в случае протаивания вечномерзлого глинистого грунта невозможно, то реко-

ндуется применять сваи или опускные колодцы, ибо протаявший иистый грунт дает большие осадки и имеет ничтожную несуую способность.

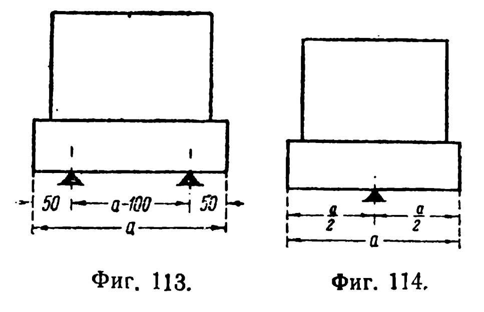
Вследствие возможности неравномерного протаивания мерзлоты, тои и быки для двупутных мостов рекомендуется проверять на гиб в двух следующих предположениях:

а) опора рассматривается как балка на двух опорах по фиг. 113;

б) опора рассматривается как балка с двумя консолями по іг. 114.

Если по одному из этих расчетов напряжение на растяжение кладке окажется больше допускаемого, необходимо сответвенно армировать верх или низ опоры. Арматура определяется к для обычной железобетонной или железокаменной конструкш. Предпочтительно армированную опору сделать бетонной или тобетонной.

Кроме этого расчета, опора должна быть рассчитана на выпувание и разрыв, на основе указаний в § 5, п. 1 и § 14, п. 4. то же касается расчета массивных опор мостов, заложенх на слое вечной мерзлоты предположении сохранения того слоя, то расчет каменх опор как устоев, так и ыков выполняется в этом лучае на основании общеринятых методов расчета, ри условии, что температура лоя мерзлоты на уровне подошвы фундамента не выше 0,5°. Допускаемые напряжения назначаются в соответствии испытаниями прочности мерзлых грунтов на месте постройки, для предварительных расчетов можно пользоваться данными СТ 90032—39, приведенными в таблице § 13, п. Г.



Фиг. 113. Фиг. 114.

В. Туннели

Туннели проектируются и рассчитываются, как для обычных ловий, причем прочность вечной мерзлоты в расчет не принимается, так как постройка туннеля поведет к уничтожению ерзлоты в непосредственной от него близости.

Ввиду больших затруднений, которые в условиях сурового имата в районах вечной мерзлоты представляет вода, проникающая в туннель сквозь обделку, как для постройки, так и для последующей эксплоатации, необходимо обращать особое внимание а гидроизоляцию. Важность тщательной гидроизоляции обусловливается также и тем, что во многих случаях в районах вечной ерзлоты обнаружена значительная агрессивность грунтовых вод.

Вследствие этого обделка туннеля должна быть защищена идроизоляцией, уложенной снаружи свода, а при невозможности того — изнутри, с применением железобетонной внутренней рубашки.

В целях удаления воды из-за стен обделки вдоль туннеля с обеих сторон целесообразно устроить продольные водоотводные штольни. Штольни могут быть объединены с обделкой и тогда они должны быть доступны изнутри туннеля для осмотра, очистки и ремонта, но могут быть сделаны и самостоятельно не соединенными с туннелем; в таком случае их размер определяется возможностью прохода по ним человека. Водоотводные штольни также должны иметь соответствующую обделку.

При производстве работ по устройству обделки туннеля из каменной или бетонной кладки на участках туннеля, где производится эта работа, следует поддерживать температуру, обеспечивающую схватывание и твердение бетона (не менее +5°), в течение времени, достаточного для получения расчетной прочности раствора или бетона при данном сорте цемента. Для сокращения этого срока следует применять высокосортные цементы и вести всю работу наиболее быстрым темпом.

§ 15. УКАЗАНИЯ И СООБРАЖЕНИЯ ОБ УСТОЙЧИВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1. Насыпи

Для устойчивости насыпей преобладающее значение имеет материал, из которого отсыпана насыпь, а также характер и состояние основания насыпи, т. е. грунта, находящегося в почве под насыпью. Поэтому в дальнейшем этим двум обстоятельствам уделено особое внимание, указаны оптимальные материалы, позволяющие отсыпать насыпь любой высоты, отмечены нежелательные материалы, из которых возможно возведение насыпей, но с соблюдением определенных ограничительных условий и с применением специальных мероприятий; кроме того перечислены грунты, недопустимые для возведения насыпей.

Насыпи из хорошо дренирующих грунтов, т. е. из среднего и крупного песка, гравия, хряща и т. д., могут быть отсыпаны любой высоты при обеспечении необходимой прочности основания с откосами общепринятой крутизны, предусмотренными для этих грунтов. Поэтому для насыпей рекомендуется средний и крупный песок, гравий, хрящ, галька, щебень и камень, полученный при разработке скальных выемок. Насыпи из этих материалов деформациям обычно не подвергаются.

Мелкий песок, глина и вообще глинистые грунты менее желательны для устройства насыпей, но могут быть применены при условии устройства особого основания из хорошо дренирующих грунтов, которое будет препятствовать проникновению воды — врага насыпей — в тело сооружения.

Пылеватые грунты, суглинки и супеси с содержанием пылеватых фракций свыше 30—35%, не рекомендуются в качестве материала для насыпей, но могут быть допущены только в виде исключения, при полной невозможности заменить их лучшими, и при том условии, что содержание пылеватых фракций не превышает 50%.

Суглинки и супеси с содержанием пылеватых фракций свыше %, а также ил и плывучие грунты непригодны для возведения ;ыпей, но в случае необходимости насыпи из таких грунтов гут быть сделаны по особым проектам.

Насыпи из мелкого песка, глины и глинистых грунтов можно ектировать на основании следующих указаний и в следующих чаях:

а) при высоте насыпи до 1 *м* — только на сухих участках;

б) при высоте насыпи от 2 до 5 *м* — на сухих и на влажных стках, за исключением марей и других болот, но с откосами круче 1 $1^1/_2$ и с устройством специального основания;

в) при высоте насыпи более 5 *м* — в любых условиях, но ткосами по расчету, и во всяком случае не круче 1 : $1^1/_2$, и то же — устройством специального основания из хорошо дренирующих нтов.

Как устраивать специальное основание сказано ниже, так как кое основание придется применять не только в упомянутых слу-іх, но и во многих других.

Из сказанного видно, что переходные насыпи (при переходе лотна от выемки к насыпи), а также вообще насыпи из мелкого ска, глины и глинистых грунтов, высотой до 1 *м*, можно возво-ть только на сухих участках. Это указание обусловливается тем,) вследствие большой капиллярности глинистых грунтов вода из крого основания может высоко подниматься в насыпь; это стоятельство может привести к образованию пучин в связи глубоким промерзанием насыпей в области вечной мерзлоты, зываемым весьма низкой зимней температурой и усугубляемым, некоторых местностях, незначительным снежным покровом.

По этим же соображениям, для защиты от пропитывания и раз-чивания водой нижней части более высоких землистых насыпей г 2 до 5 *м*), предлагается устраивать специальное основание, т. е. з насыпей рекомендуется отсыпать из хорошо дренирующих унтов. Высота насыпи от 2 до 5 *м* еще недостаточна, чтобы ржать основание насыпи всегда в мерзлом состоянии, вслед-вие чего нижняя часть этих насыпей будет то замерзать, то от-ивать и в талом состоянии, намокнув, может быть выдавлена з-под насыпи.

На насыпи выше 5 *м* неблагоприятное влияние промерзания и таивания нижней части не столь сильно, так как это явление удет иметь место лишь вблизи откосов, которые можно удержать г сплывания поверхностным укреплением; средняя же часть осно-ания насыпи, будет, вероятно, находиться в мерзлом состоянии, бо высокая насыпь, преградив доступ тепла в грунт, поднимет од своей подошвой верхнюю границу вечной мерзлоты, которая ри известной высоте насыпи может зайти и в тело насыпи в виде родольного горба.

Но, несмотря на это обстоятельство, и для высоких насыпей из линистых грунтов целесообразно устройство специального осно-ания из хорошо дренирующих грунтов. Это указание основано на ледующих соображениях. Во-первых, при возведении насыпей на окрых местах откосы их в нижней части на глубину летнего про-

таивания всегда будут находиться в условиях, аналогичных условиям насыпей малой высоты и, следовательно, могут подвергаться сплывам. Во-вторых, в течение ряда лет может находиться в таком же положении и нижняя часть ядра насыпи, пока граница вечной мерзлоты не поднимется и не войдет в тело насыпи. При постройке и в первые годы эксплоатации наблюдается обратное явление: граница верхней мерзлоты под подошвой насыпи несколько понижается и под насыпью вследствие этого образуется корыто со слабым грунтом, насыщенным водой. Такие случаи наблюдались и причиной их является большой запас тепла, образующийся в грунте насыпи при ее возведении в летнее время, когда солнце сильно нагревает поверхность отсыпаемого на насыпь грунта (§ 8, п. 2).

При высоких насыпях, выше 5 *м*, из землистых грунтов нельзя ограничиться устройством специального основания из хорошо дренирующих грунтов. В дополнение к такому основанию следовало бы присыпать с двух сторон бермы. Необходимость присыпки берм объясняется следующими соображениями.

Как было указано раньше, под высокими насыпями вечная мерзлота поднимается и входит горбом в тело насыпи. Это явление вполне объясняется теоретическими соображениями и подтверждается наблюдениями. При оттаивании грунта на контакте талого грунта с указанным мерзлым горбом образуются увлажненные, круто наклонные поверхности скольжения, могущие вызвать деформации насыпи.

Для того чтобы в теле насыпи не было этого крутого мерзлого горба, необходимо заставить горизонт вечной мерзлоты подняться и по бокам от насыпи. Это достигается устройством рекомендуемых присыпных берм по обеим сторонам насыпи. Ширина и высота этих берм, очевидно, должны находиться в некоторой зависимости от высоты насыпи. Высоту этих берм можно уменьшить, если сделать их не из грунта, а из мха или торфа, но более целесообразным представляется отсыпать их из грунта, так как, помимо своего теплоизоляционного значения, они своим весом будут способствовать устойчивости откосов насыпи.

Все что было сказано в отношении глинистых грунтов справедливо и для пылеватых, с той только разницей, что насыщение водой пылеватых грунтов еще более опасно и насыпи из пылеватых грунтов деформируются чаще и сильнее. Поэтому насыпи из грунтов с содержанием пылеватых фракций в пределах от 30 до 50% допускаются как исключение, если приняты меры, исключающие возможность насыщения водой тела насыпи.

Крутизну откосов насыпей из пылеватых грунтов при высоте их до 2 *м* можно принять в 1 $1^1/_2$. При большей высоте верхнюю часть откосов на высоту 2 *м* целесообразно делать крутизной в 1 $1^1/_2$, а ниже пологость откосов постепенно увеличивать примерно на $^1/_4$ на каждые 3 *м*. Устойчивость насыпи необходимо проверить расчетом.

Нередко в условиях вечной мерзлоты приходится возводить насыпи на марях и это во многих случаях приводит к деформациям сооружения, вследствие большой влажности грунтов на мари

малой глубины залегания слоя вечной мерзлоты. Для обеспечения гойчивости насыпей на марях необходимо принимать особые ры, рассматриваемые ниже.

Насыпи на марях из камня, щебня или гальки должны иметь соту не менее 1 *м*, из гравия и крупного или среднего песка — менее 1,5 *м*, а из прочих допустимых грунтов не менее 2,0 *м* і условии устройства специального основания. При этом толіну слоя хорошо дренирующего грунта в основании насыпи надо зеделять с учетом возможной осадки вследствие сжатия торфа, е. слой дренирующего грунта должен возвышаться над поверхтью мари не менее, чем на 1,0 *м*. Меньшая высота слоя дрениющего грунта нежелательна, так как она может быстро и легко иливаться из-за проникновения грунта сверху и вследствие проіывания водой снизу.

Высота насыпей на марях не может доходить до нуля, как на іих участках линии, и никогда не должна быть меньше указані, что может быть без особых затруднений достигнуто соответіующей проектировкой на марях. Переход от насыпи к выемке іжен быть сделан на берегу мари и в таком от нее расстоянии, обы переходная насыпь в пределах мари имела нужную высоту. фра 1,0 *м* высоты насыпи принята как минимальная, препятіующая быстрому протаиванию под основанием насыпи вечной ізлоты, залегающей на марях очень неглубоко.

Наблюдениями установлено, что при насыпях высотой около *м* не только не бывает никакого подъема вечной мерзлоты, но ычно происходит протаивание ее и вследствие этого — осадка ыпи, несмотря на сохранение в некоторых случаях под насыпью а и торфа, покрывающих марь с поверхности.

Так как торф, находящийся на марях под насыпью (а удалять) из-под основания насыпи, пожалуй, не следует), будет под веи насыпи и поездов постепенно сжиматься, насыпь своей нижі частью будет садиться в марь и эта осадка может доходить 2 *м*. Так как насыщенный водой торф способен сжиматься до своей первоначальной высоты, на марях потребуется отсыпка ей невысокой насыпи из хорошо дренирующих грунтов, а не лько устройство из этих грунтов основания, как это было укано для насыпей, расположенных вне марей.

Для насыпей выше 3 *м* толщина слоя хорошо дренирующего унта при устройстве специального основания определяется с учем возможной осадки, так чтобы над поверхностью болота слой енирующего грунта был не меньше 1 *м*.

Опыт существования железнодорожных насыпей на марях показ л, что мари, к осушению которых были приняты меры, часто ьма незначительные, постепенно теряют свой болотный харакр. Мелиорация их заключается в том, что горизонт грунтовых д понижается, верхний слой высыхает, сухой мох от палов выдает, оставляя большое количество золы, черная сухая поверхсть нагревается солнцем сильнее, идет дальнейшая осушка мари, поверхности меняется растительность — вместо мха появляются тговые травы, летнее протаивание проникает гораздо глубже, ечная мерзлота понижается, начинают расти деревья и кустар-

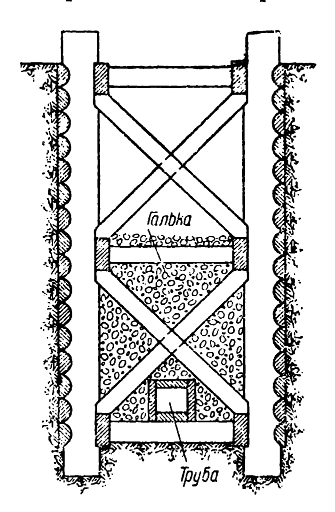
ник. Параллельно с этим насыпь, постепенно осаживаясь, становится устойчивее и на ней исчезают пучинные места.

Эти соображения позволяют считать полезным немедленное проведение хотя бы самых элементарных мероприятий по отводу поверхностной и отчасти грунтовой воды на марях. Дальнейшая разработка этого вопроса на основе соответствующих экспериментальных работ несомненно должна поставить и решить вопрос о возможно более широком и полном предварительном, до приступа к сооружению дороги, осушении марей.

Инж. А. Куртинов находит уместным в некоторых случаях в качестве дополнительной меры, ускоряющей протаивание, проводить вспашку полосы отвода после некоторой предварительной просушки поверхности.

Кочки на кочковатых марях при низких насыпях высотой менее 3 *м* необходимо срезать. Срезанный материал можно распланировать тут же под насыпью. С верховой стороны насыпи для осушения верхнего слоя мари полезно сделать водоотводную канаву глубиной не свыше 0,60 *м* в расстоянии от подошвы откоса бермы не ближе 10 *м*.

При обильной влажности основания и малой высоте насыпей и в особенности на нулевых местах, водоотводные канавы должны быть устроены с двух сторон и иметь глубину не менее 2—2,5 *м*. Эти канавы отрываются в расстоянии 10 *м* от подошвы откоса насыпи и устраиваются в виде деревянных лотков усиленного типа (фиг. 115). Специальное основание необходимо устраивать для насыпей из мелкопесчаных, глинистых и пылеватых грунтов в случаях, рассмотренных выше. Устройство специального основания состоит в том, что для насыпей высотой более 2 *м* низ насыпи на высоту в 1 *м* отсыпается из крупного песка, гравия, хряща, гальки, щебня или камня (фиг. 116).



Фиг. 115. Усиленный деревянный лоток.

Таблица 8

Размеры берм для насыпей, возводимых по принципу сохранения слоя вечной мерзлоты в основании

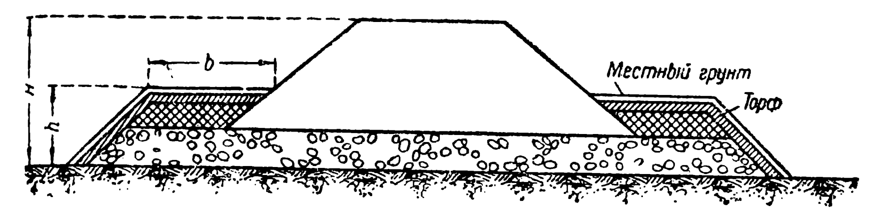
Высота насыпи H в *м*	Ширина бермы поверху b в *м*	Высота бермы h в *м*
5—7,5	1,5	1,0
7,5—10	2,5	1,25
10—15	3,0	1,50
15—20	4,0	2,0

Для насыпей высотой от 5 *м* и выше нижняя часть из хорошо дренирующих грунтов должна выступать за пределы откосов в виде двух присыпных берм, размеры которых зависят от высоты

асыпи и указаны в табл. 8. Эти бермы досыпаются сверху местым грунтом до высоты, зависящей от высоты насыпи, указанной той же табл. 8.

Толщину слоя дренирующего грунта особого основания рекоендуется принять в 1 *м*, как минимальную гарантирующую неозможность капиллярного поднятия воды и обеспечивающую отиливания этого слоя. Размеры берм в таблице назначены из сображений о придании насыпи устойчивости в зависимости от ее ысоты и из соображений о предотвращении образования крутых слонов мерзлого горба, могущего появиться в насыпи.

Бермы рекомендуется покрывать слоем торфа или других теплозоляционных материалов толщиной 15—30 *см* для лучшего выравивания верхней границы вечной мерзлоты под насыпью и за пределами ее. Слой мха или торфа нельзя оставлять открытым, ибо н способен, высохнув летом, случайно сгореть. Поэтому его учше прикрыть сверху слоем местного грунта.



Фиг. 116. Особое основание из хорошо дренирующего грунта для насыпей.

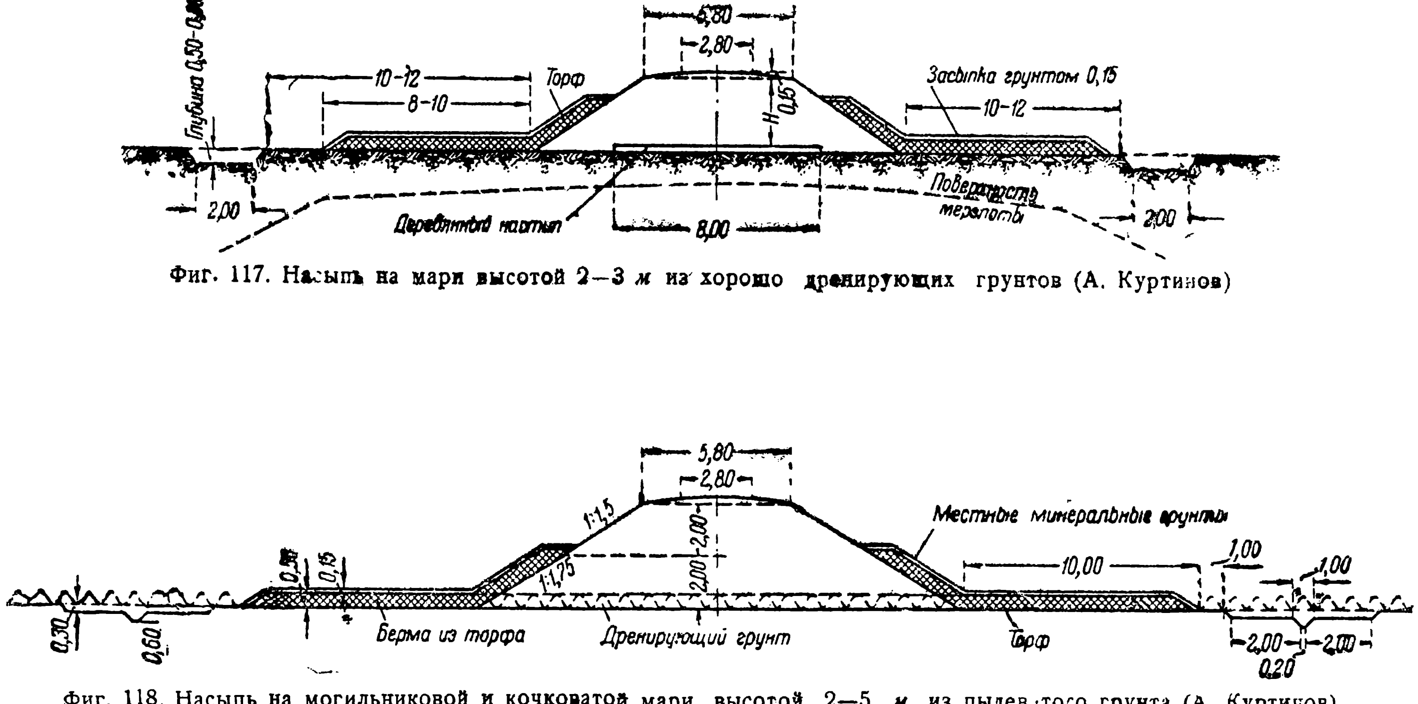
Размеры берм не могут быть обоснованы какими-либо расчеами, поэтому их размеры назначены по соображению с возможым положением верхней границы слоя вечной мерзлоты. При отутствии вечной мерзлоты в основании насыпи бермы не нужны.

При возведении насыпей по возможности рекомендуется делать езервы с двух сторон насыпи, назначая ширину и, в особенности, лубину резервов одинаковыми или мало разнящимися для той и ругой стороны.

При желании сохранить слой вечной мерзлоты в основании наыпи, устройства резервов по возможности следует избегать, а в райнем случае закладывать их на расстоянии не менее 10 *м*. При тсутствии вечной мерзлоты это расстояние определяется обычыми соображениями. Отвод воды из резервов необходимо устраиать особенно тщательно. Продольный уклон для резервов следует азначить не менее 0,003.

Заложение резервов на участках, где полотно дороги проходит ад погребенными льдами, недопустимо. Требование об устройстве вухсторонних резервов объясняется тем, что при одностороннем езерве получается перекос земляного полотна и просадка ближайей к резерву нитки рельсовой колеи, как это установлено из ряда аблюдений дорожных мастеров при эксплоатации Амурской жезной дороги. Причиной этого является боковое, по отношению к езерву, протаивание вечной мерзлоты.

На этом же основании рекомендуется избегать закладки резер-



Фиг. 117. Насыпь на мари высотой 2—3 *м* из хорошо дренирующих грунтов (А. Куртинов)

Фиг. 118. Насыпь на могильниковой и кочковатой мари высотой 2—5 *м* из пылеватого грунта (А. Куртинов).

вов как непосредственно над линзами погребенного льда, так и вообще в районах распространения этих линз. Этими же соображениями обусловливается требование тщательного отвода из резервов воды, являющейся, как известно, носительницей большого количества тепла. Скопляясь в резервах, вода будет вызывать глубокое протаивание слоя вечной мерзлоты, что может сильно отразиться на устойчивости насыпи.

Чрезвычайно интересные и продуманные типы насыпей для самых разнообразных условий, доложенные инж. А. Куртиновым на совещании по ВТУ в Академии наук, приведены далее. Эти типы разработаны в соответствии с указаниями и соображениями проекта ВТУ[1] НИИПС НКПС, 1939, и содержат немало оригинального.

На фиг. 117 представлен тип насыпи высотой от 2 до 3 *м* из хорошо дренирующих грунтов на мари с торфяным покровом в предположении сохранения слоя вечной мерзлоты. При ненадежных грунтах основания на поверхность земли под насыпь укладывается слой дерева такой толщины, которая могла бы компенсировать снятый слой торфа. Для предотвращения оттаивания мерзлоты с боков насыпи устроены бермы из торфа, сверху прикрытые, во избежание воспламенения, слоем местного грунта в 0,15 *м*. Слой торфа заходит на откос насыпи. В том случае, если насыпь, в этих условиях, отсыпается из мелкопесчанистых, супесчанистых, суглинистых и пылеватых грунтов, предполагается устройство основания из хорошо дренирующих грунтов таким образом, чтобы после осадки дренирующая прослойка возвышалась над поверхностью мари на 0,50 *м*.

Насыпь высотой от 2 до 5 *м* из пылеватых грунтов на могильниковой и кочковатой мари приведена на фиг. 118. В нижней части насыпи имеется слой хорошо дренирующего грунта высотой в 0,50 *м*. Торфяная одежда не уложена на откосах. Откосы уположены в нижней части насыпи, так как пылеватый грунт мало пригоден для насыпей, ибо он плохо сохраняет устойчивость при большом наклоне. На чертеже показаны водоотводные канавы типа, рекомендованного проектом ВТУ, и указаны их размеры.

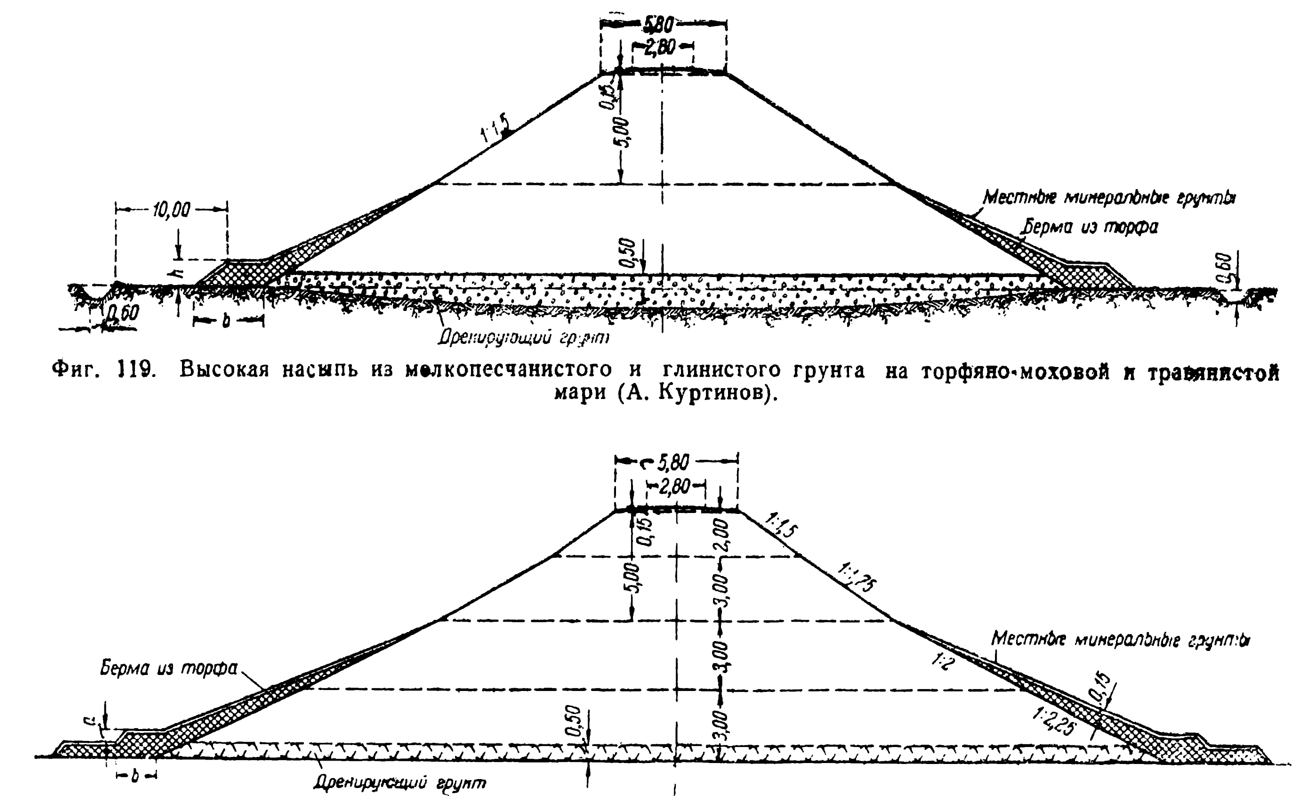
При высоте насыпи до 3 *м* кочки и бугры в пределах основания по этому типовому проекту срезаются полностью и удаляются, при высоте свыше 3 *м* кочки и бугры срезаются и планируются только на бермах. По спланированной поверхности берм укладывается теплоизоляционная подушка из торфа высотой 0,50 *м*, прикрытая слоем местного минерального грунта толщиной в 0,15 *м*.

Высокая насыпь (более 5 *м*) на торфяно-моховой и травянисто-моховой мари из мелкопесчанистого глинистого грунта изображена на фиг. 119. Как и в предыдущих примерах, здесь имеется основание из хорошо дренирующего грунта, возвышающееся над поверхностью мари на высоту 0,50 *м*.

Во избежание образования крутых склонов горба мерзлоты,

---

[1] Проект временных технических условий на изыскания, проектирование и сооружение жел. дор. в условиях вечной мерзлоты. НИИПС НКПС, 1939. (В. Ливеровский и К. Д. Морозов).



Фиг. 119. Высокая насыпь из мелкопесчанистого и глинистого грунта на торфяно-моховой и травянистой мари (А. Куртинов).

Фиг. 120. Высокая насыпь из пылеватых грунтов на могильниковой и кочковатой мари (А. Куртинов).

роникающей при большой высоте насыпи в ее тело, откосы насыпей прикрывают термоизоляционной одеждой из торфа, сверху асыпанного местным минеральным грунтом. С боков насыпи запроектированы бермы из торфа некоторой высоты и ширины *b*, азначаемой по табл. 9.

Такая же высокая насыпь из пылеватых грунтов на могильниковой и кочковатой мари (фиг. 120) имеет в общем то же устройство, но откосы делаются более пологими, так как пылеватые рунты плохо сохраняют устойчивость. Покрытие откосов и бермы редположено делать из торфа. Размеры берм назначаются по предыдущему типу. Размеры и форма водоотводных канав здесь ходны с указанными на фиг. 118.

По поводу этих проектов насыпей можно сказать следующее. Для всех типов насыпей из землистых грунтов предположено стройство особого основания или противокапиллярной подушки, препятствующей насыщению ела насыпи водой. Эта подушка назначена высотой в 0,50 *м*. Надо заметить, что этого маловато, ибо отсыпка насыпи из линистого и пылеватого грунта верх хорошо дренирующего грунта поведет к тому, что все 0,50 *м* не останутся чистыми. Значительная часть этой высоты, если не вся высота, пропадет, так как провалившиеся сверху мелкие частицы грунта, так сказать, заилят этот слой. С другой стороны, при высокой насыпи в первое время ее существования под ней будет существовать талый грунт, в котором будет циркулировать влага и который отдаст эту влагу, с примесью частиц ила и земли, вновь насыпанному слою. Таким образом, слой хорошо дренирующего грунта будет заиливаться и снизу. Едва ли при таких условиях указанная выше противокапиллярная подушка выполнит свое назначение. Ее лучше во всех случаях назначать высотой не менее 1,0 *м*.

Таблица 9

Размеры торфяной бермы

Высота насыпи *H* в *м*	Ширина бермы поверху *b* в *м*	Высота бермы *h* в *м*
5—7,5	2,00	0,75
7,5—10,0	3,00	1,00
10,0—15,0	4,00	1,50
15,0—20,0	5,00	2,00

Насколько уместно устройство деревянного настила под насыпью сказать трудно, ибо практических данных по этому поводу нет. Но, рассуждая логически, надо думать, что деревянный настил не сможет служить изоляцией, ибо он быстро пропитается водой. Делать его едва ли стоит.

Для одного района инж. Е. И. Суходольский в докладе на совещании по ВТУ в Академии наук для наиболее распространенных в этом районе пылеватых грунтов, с содержанием пылевато-илистых частиц в среднем около 72—73%, рекомендовал профиль насыпи по фиг. 121 при условии осушения основания. Этот район имеет весьма своеобразные особенности. Е. И. Суходольский сообщает, что средняя годовая температура района 8—10° ниже нуля. Минимальная зимняя температура около −50° Атмосферные осадки составляют всего 250—350 *мм* в год.

Снега не очень много, но ветры, дующие со скоростью до 30—40 *м/сек*, часто при соответствующих условиях рельефа, образуют сугробы толщиной в несколько метров. Вечная мерзлота залегает очень неглубоко и на глубине 1 *м* имеет температуру —1°, а на глубине 4—5 *м* — до 5—6° ниже нуля. Почва сложена по преимуществу из переувлажненных пылевато-илистых грунтов с содержанием пылеватых частиц до 72—73%. Другие грунты, и, особенно, хорошо дренирующие встречаются редко. Так, на обследованных инж. Е. И. Суходольским 113 *км* дороги эти грунты были найдены в трех карьерах. Существующие насыпи имеют частые и значительные деформации, возникающие по преимуществу вследствие замокания и сплыва откосов.

Фиг. 121. Насыпь из пылеватого грунта по Е. И. Суходольскому.

Обращаясь к фиг. 121, можно заметить, что откосы насыпи прикрыты теплоизоляцией, доведенной почти до верха насыпи. Уклоны откосов 1 : 2. Пунктиром показано вероятное положение верхней границы слоя мерзлоты, зашедшей в тело насыпи. Следует указать. что, несмотря на относительную редкость на трассе дороги хорошо дренирующих грунтов, здесь было бы необходимо устраивать особое основание (фиг. 116), идя на дальнюю перевозку материалов для этого и поставив тщательные разведки таких материалов в стороне от дороги. Устройство основания из хорошо дренирующих грунтов несколько уменьшило бы объем насыпей и позволило получить устойчивые сооружения. С другой стороны, в этих условиях очень полезны бермы из грунта. Они увеличивают устойчивость тела насыпи.

2. Выемки

Выемки весьма резко нарушают режим вечной мерзлоты. Желательно избегать выемок в вечномерзлых влажных землистых грунтах, так как они получаются с откосами, склонными к сплыванию, и со слабым дном, подверженным просадкам и пучению; кроме того резко ухудшаются условия производства работ, отчего проектная стоимость работ увеличивается иногда в несколько раз.

Особенно не рекомендуется делать выемки в мелкозернистом песке, в сильно влажных пылеватых суглинках и супесках, а также в плывучих и илистых грунтах.

Ввиду того что выемок все же нельзя избежать, далее приво-ся указания, стремящиеся обеспечить устойчивость выемок при личных грунтах слоя вечной мерзлоты.

Устройство выемок в хорошо дренирующих грунтах, скован-х вечной мерзлотой, более приемлемо, но тоже требует извест-й осторожности при значительной влажности грунта, так как же в таких грунтах при разработке их в летнее время, при бы-ом оттаивании грунта откосы выемок могут сильно сплывать.

Во избежание сплывов откосы выемки при разработке реко-ндуется прикрывать слоем рыхлого торфа толщиной 25—30 *см* слоем мха толщиной 20—25 *см*. При этом устройство моховой торфяной одежды откосов надо вести параллельно с обнаже-м слоя мерзлоты.

Выемки в вечномерзлых мелкопесчаных, супесчаных, суглини-х и глинистых грунтах менее приемлемы, так как они еще бо-подвержены деформациям. Практика устройства и эксплоата-и выемок в таких грунтах показала, что откосы в них можно ржать в устойчивом состоянии без сложных и дорогих меро-ятий только при тизне их, не превы-ющей 1 : 2 (фиг.). Нормальную ши-у выемок в грунтах го рода полезно личить на 1 *м* с кдой стороны, с лью образования за ветами полок для помещения сползающего с откосов оттаяв-го грунта. Временно, впредь до оттаивания и просушки грунта откосах, целесообразно устраивать вместо кюветов деревянные ки по фиг. 115.



Фиг. 122. Целесообразный профиль выемки в вечномерзлых мелкопесчаных, супесчаных и глинистых грунтах.

Во время разработки таких выемок весьма желательно принить меры для замедления оттаивания откосов одеждой из мха и торфа, как было указано выше.

Устройства выемок в вечномерзлых плывучих, илистых и леватых обильно влажных грунтах необходимо всемерно избе-ть, идя даже на изменение плана или профиля трассы. В исклю-тельных случаях, при полной невозможности изменения трассы, тройство выемок рекомендуется выполнять на основании спе-альных проектов и в соответствии со следующими указаниями.

Опыт постройки полотна в плывучих выемках показал, что льзя придавать откосам крутизну более чем 1 : 3. Эту крутизну до принять как минимальную, не останавливаясь на более кру-х откосах, ибо если первоначально задаться более крутым отко-м, то впоследствии не удастся получить и откос 1 : 3. Выемку этих грунтах следует располагать по возможности на уклоне не нее 0,002; впрочем в крайности быстрый сток воды можно по-чить и приданием соответствующего уклона кювету. Однако по-едний способ требует большого углубления кювета и увеличи-ет объем разработки.

За кюветами с обеих сторон полотна весьма целесообразно

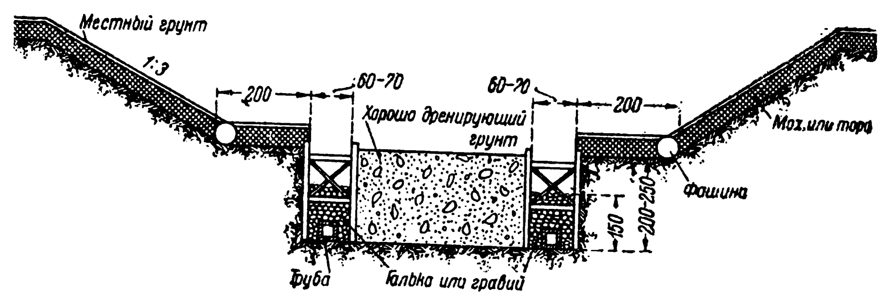
устроить бермы шириной в 2,00 *м* в качестве дополнительного обеспечения для защиты кюветов и пути от возможных сплывов грунта (фиг. 123).

Слой грунта на глубину 2—2,5 *м* ниже дна выемки полезно выбрать и заменить шлаком, камнем, галькой, гравием или в крайнем случае крупным песком.

Выборка грунта ниже дна выемки рекомендуется на основании соответствующих опытов этой работы и соображений местных работников.

В случае наличия в районе постройки котельного шлака, верхнюю часть засыпки котлована, выбранного в дне выемки, полезно сделать из шлака слоем не меньше 0,60 *м*. Кюветы должны быть сделаны, как сказано выше, в виде глубоких дренажных лотков (фиг. 115).

Откосы выемки для более быстрого осушения грунта следует прорезать поверхностными дренажами шириной 0,60 *м* и такой же



Фиг. 123. Выемка в вечномерзлых плывучих, глинистых и пылеватых обильно влажных грунтах.

глубиной, заполненными фашинами, или, если материал для фашин отсутствует, то камнем, уложенным по слою мха или торфа.

Во время разработки выемки поверхность откосов необходимо покрывать слоем рыхлого торфа или мха толщиной 0,30 *м*. Покрытие откосов выемок торфом или мхом предназначается для замедления оттаивания грунта в откосах и, в совокупности с дренажем, устраиваемым в откосах, должно способствовать более быстрому осушению грунта, что уменьшает стремление грунта к сползанию. Дренаж рекомендуется устраивать преимущественно из фашин, а камень допускается для этих целей лишь в случаях отсутствия фашин. Для того чтобы камень не нагревался от солнца или воздуха и не передавал тепло в грунт, его со всех сторон обкладывают слоем торфа или мха.

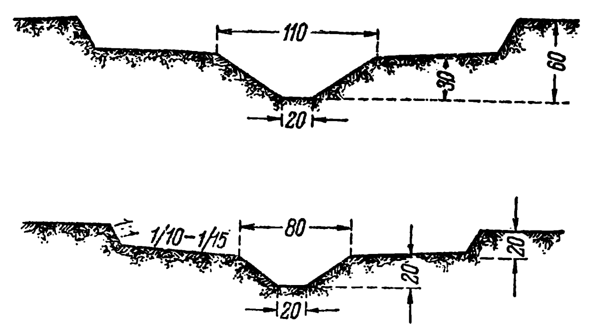
В выемках глубиной более 2 *м* подошва откоса укрепляется дренирующей подпорной стенкой из фашин или плетня. Фашины и плетни, уложенные у откоса выемки, служат упором для торфяной или моховой одежды откосов, а отчасти и для сползающего грунта.

Работы по разработке выемки рекомендуется производить, как правило, зимой.

Все выемки в землистых грунтах следует ограждать нагорными авами. На скальных косогорах нагорные канавы устраиваются и косогор не круче одиночного. Во избежание излишнего нару-шия состояния мерзлоты следует избегать глубоких канав бже 0,60 *м*). Для быстрого отвода воды желательно продоль-і уклон канав назначать не меньше 0,003.

Нужные размеры поперечного сечения канавы следует получать за счет ее углубления, а за счет уширения; поэтому рекомен-тся применять поперечное сечение канав, указанное на фиг. 124. Расстояние между бровкой откоса выемки и бровкой откоса авы должно быть при землистых грунтах не более 20 *м*, при льных и полускальных грунтах — не более 5 *м*.

Проект выемки в вечномерзлых, илистых, плывучих и сильно жных пылеватых грунтах по упоминавшимся выше данным к. А. Куртинова дается на фиг. 125. Проект выемки составлен оответствии с проектом ВТУ 1939 г. (А. В. Ливеровский и



Фиг. 124. Целесообразное сечение водоотводных канав.

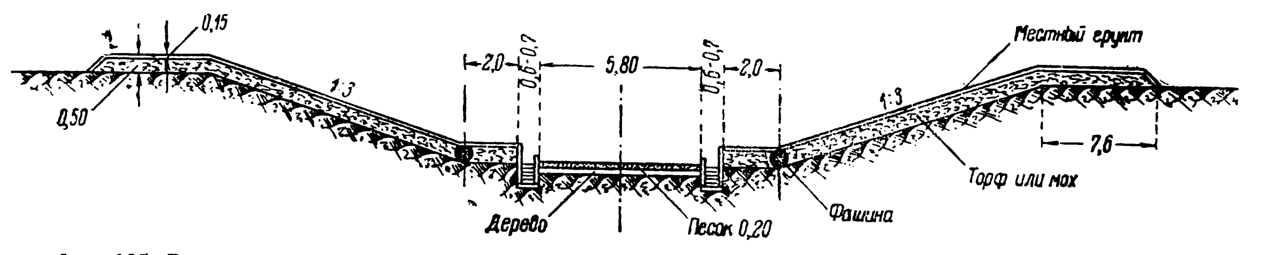
Д. Морозов), но имеет свои оригинальные особенности. От-сы выемки для замедления и уменьшения оттаивания покрыты рфом или мхом. Уклон откосов 1 : 3. Дно выемки закрыто дере-нным настилом, толщину которого предполагается найти по те-отехническому расчету. Кюветы запроектированы в виде глубо-х лотков.

По поводу этого чертежа следует сказать, что деревянный на-ил на дне выемки едва ли принесет большую пользу. Скорее его он быстро пропитается водой и не будет служить тепло-оляторoм.

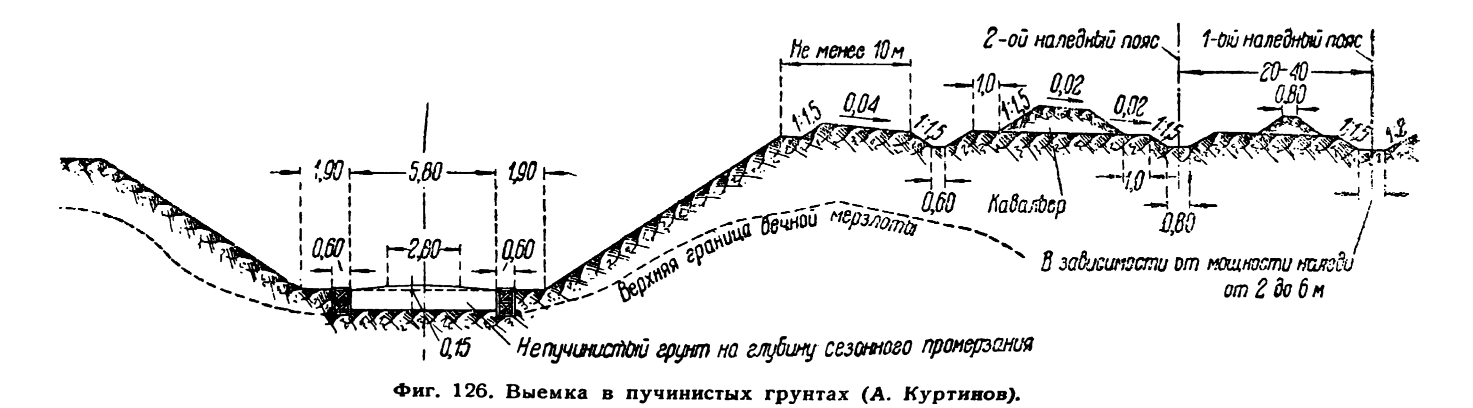
Выемка с кавальером в пучинистых грунтах показана на г. 126. Грунт в дне выемки предполагается по этому проекту брать на глубину сезонного протаивания и заменить непучини-ым грунтом. Лотки сделаны по типу фиг. 115.

Можно отметить, что откосы в такой выемке следовало бы за-ыть одеждой по предыдущей фиг. 125, ибо пучинистый грунт, роятно глинистый или пылеватый, будет оползать из-за интен-ивного протаивания мерзлоты в откосах.

Устройство выемки, рекомендуемое инж. Е. И. Суходоль-им при слабых пылевато-илистых грунтах плывунного типа,



Фиг. 125. Выемка в вечномерзлых илистых и плывучих сильно влажных грунтах (А. Куртинов).



Фиг. 126. Выемка в пучинистых грунтах (А. Куртинов).

едставлено на фиг. 127. По этому проекту слой изоляции откосах выемки переходит здесь в двухслойную изоляцию дерева и торфа под подбалласт- призмой. Последняя предпола- тся из камня или щебня. Кю- ты заменены деревянными лотками снабжены сезонной изоляцией из а или торфа толщиною около 0,30 *м*, ладываемых в лотке в середине а, приблизительно во второй поло- е июля.

В начале зимы эта изоляция дол- а быть снята для усиленного про- аживания грунта, прилегающего к ткам. Кюветы следует регулярно щать от снега.

С наступлением теплого времени, да нижний ярус лотка протает и нет действовать, отепление лотка ляцией, по мнению Е. И. Сухо- ьского, будет препятствовать даль- шему чрезмерному прогреванию него яруса, в то же время не пре- щая действия дренажа. Поэтому онная изоляция в лотках в извест- мере осуществит сплошную тер- ащиту по всему профилю выемки. лотехнический расчет показывает, при местных условиях необходи- толщина чисто торфяной изоля- равна 0,50 *м*. Торфяной слой с евянным настилом дает коэфициент юа около 1,25.

Увеличение слоя торфа более 0,40 *м* елательно из-за его эластичности. щина слоя из хорошо дренирую- о материала не может произволь- увеличиваться, ибо при большой оте этого слоя отвод воды чрез- айно затруднится.

Указывая, что выемки рекомен- юго типа будут стоить весьма ого, инж. Е. И. Суходольский от- ает, что исключительно неблаго- тные условия, в которых будет одиться в рассматриваемом районе ожное полотно в выемках, и, с гой стороны, сравнительно незна- льное протяжение выемок, ко- е должны будут иметь дороги, проектируемые в подобных виях, оправдывают рекомендуемое им решение.

Фиг. 127. Выемка в слабых пылеватых и илистых грунтах (по Е. И. Суходольскому).

1 — временная изоляция; *2* — труба; *3* — хорошо дренирующий грунт — щебень, галька, гравий; *4* — торф; *5* — фашина; *6* — минеральный грунт или прижившаяся тундровая дернина; *7* — торф или мох; *8* — галька, проложенная мхом; *9* — слой торфа 0,40 *м*; *10* — двойной деревянный настил 0,10×0,10 *м*.

Некоторое сомнение вызывает допустимость таких упругих слоев как мох и торф в основании железнодорожного полотна. Вероятно путь окажется зыбким.

§ 16. БОРЬБА С НАЛЕДЯМИ

Борьба с наледями часто затруднительна и сложна; в некоторых случаях успешность противоналедных мероприятий незначительна. Поэтому при выборе участка для сооружений или при трассировании дороги лучше избегать наледных мест. Так как это не всегда будет возможно по техническим и экономическим соображениям, а также вследствие того, что после постройки сооружений или особенно дороги могут создаться условия, которые вызовут образование наледей там, где их раньше не было, необходимо принимать меры для защиты сооружений или полотна дороги от наледей.

Если тому или иному сооружению, будет ли это здание, мост или насыпь, угрожает наледь, правильнее всего применять активный метод борьбы с наледными явлениями.

Этот метод в основном состоит из двух главнейших мероприятий: 1) осушение местности и 2) устройство мерзлотных поясов. Для мостов, по указанию А. М. Чекотилло,[1] высказанному им на совещании по ВТУ в Академии наук, еще можно применять: 1) углубление и спрямление русел и 2) утепление русел водотоков.

Пассивный метод борьбы состоит в попытках отвести воду, образующую наледь, и в устройстве задерживающих валов и заграждений, препятствующих распространению наледи.

Необходимо заметить, что для достижения наилучшего и скорейшего успеха в борьбе с наледями, целесообразно применение для данного случая нескольких мероприятий в той или иной комбинации, в соответствии с конкретной обстановкой на месте. Для успеха борьбы следует внимательно исследовать причины наледных явлений и действовать сообразно с этим. Причины и характер наледей, а также влияние их на сооружения были рассмотрены в главах I и II. Как там было установлено, наледи могут быть грунтовые, речные и ключевые.

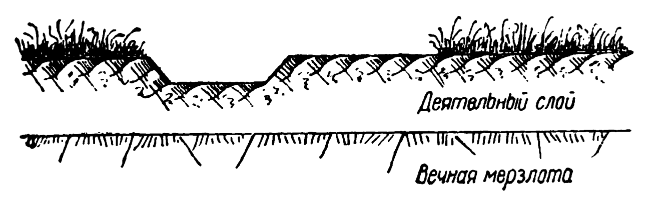
Наиболее простой, но вместе с тем наиболее эффективной мерой борьбы с грунтовыми наледями надо признать тщательное осушение местности путем поверхностных канав и, при наличии соответствующих топографических и гидрогеологических условий системой подземных дренажей, перехватывающих и отводящих от сооружения пластовые и прочие грунтовые воды. Однако устройство поверхностных водоотводных канав требует известной осторожности и внимательного учета местных условий. Водоотводные канавы могут явиться причиной глубокого промерзания почвы и вызвать наледи в местах их устройства. Кроме того осушение местности повлечет за собой понижение границы слоя вечной мерзлоты, что не всегда может быть допущено. Например такое пони

[1] А. М. Чекотилло, Борьба с наледями, Академия наук СССР, 1941.

ние неприемлемо, когда вблизи есть постройки, основанные на ной мерзлоте и спроектированные в предположении сохранения го слоя.

Канавы нуждаются в уходе, состоящем в периодической стке их и в исправлениях. Размеры и устройство водоотводных ружений определяются местными условиями и в общем не отаются от обычных.

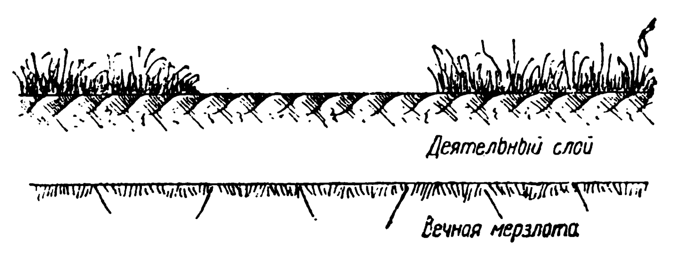
Если по местным условиям осушение грунта невыполнимо или может быть проведено в размерах, достаточных для полной видации наледей, следует прибегать к устройству так называех мерзлотных поясов.



Фиг. 128. Мерзлотный пояс в виде канавы и крыла.

Мерзлотные пояса устраиваются в виде довольно широкой кавы или в виде канавы, с прилегающей к ней полосой земли рылом), оголенной от поверхностного покрова (фиг. 128); возжно также устройство в виде одной полосы, оголенной от порхностного покрова (фиг. 129).

Как это хорошо видно из приводимых чертежей, мерзлотные яса являются сооружениями, способствующими быстрому глужому промораживанию деятельного слоя в определенных ме-



Фиг 129. Мерзлотный пояс в виде оголенной полосы почвы.

х, для создания преграды движению грунтовых вод и, следотельно, для отдаления наледи от полотна дороги, мостов, труб, аний и других сооружений.

Под оголенной поверхностью грунта и под дном канавы прорзание будет происходить скорее, так как низкая температура этих местах легче и скорее проникнет в грунт. Сезонное прорзание, сомкнувшись со слоем вечной мерзлоты или другим вожепроницаемым грунтом, создает перемычку, и наледь обраятся около канавы, т. е. там, где это нужно строителям мерзлото пояса.

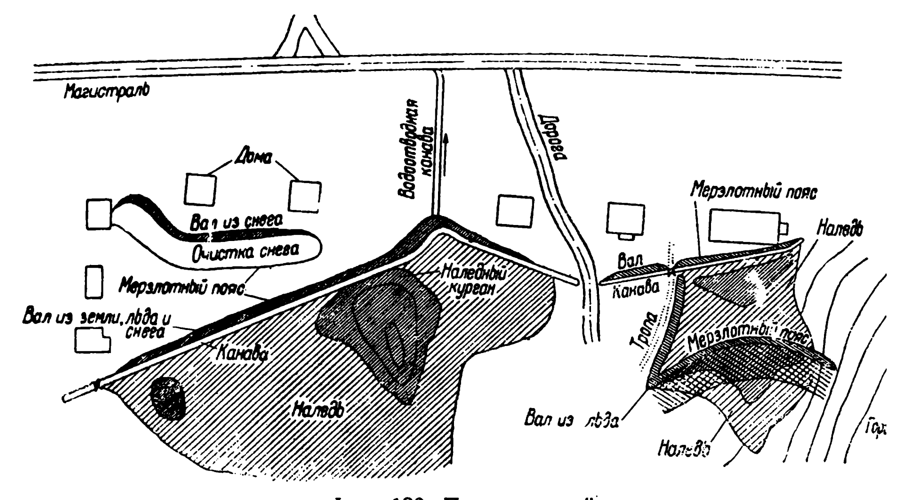
При больших наледях устраивается ряд мерзлотных поясов,

расположенных в некотором расстоянии друг от друга, для пост(
пенного истощения наледи.

Мерзлотный пояс для борьбы с грунтовыми наледями в каж
дом отдельном случае должен быть спроектирован в соответстви
с характером и размерами наледи и всей совокупностью местны
условий. Поэтому очень трудно дать точные размеры его ширин
глубины, длины и расстояния от полотна или от другого сооруж
ния. Однако на основании опыта устройства таких поясов можн
ориентировочно руководствоваться следующими указаниями дл
назначения размеров:

1) ширина пояса в виде канавы	5— 10 *м*
2) глубина пояса в виде канавы . .	. 1— 0,5 *м*
3) ширина оголенной полосы (крыла) .	. 10— 15 *м*
4) расстояние пояса от сооружения .	. 50—100 *м*

Совершенно очевидно, что мерзлотный пояс может быть созд
лишь в том случае, если на некоторой глубине от дневной повер



Фиг. 130. План наледей.

ности залегает водонепроницаемый грунт. Для устройства пояс
следует выяснить также направление потока грунтовых вод, иб
мерзлотный пояс принесет пользу лишь в случае закладки его пр
близительно поперек потока грунтовых вод.

Интересным примером избавления сооружений от грунтовых н
ледей является устройство поясов на Амурско-Якутской дороге.

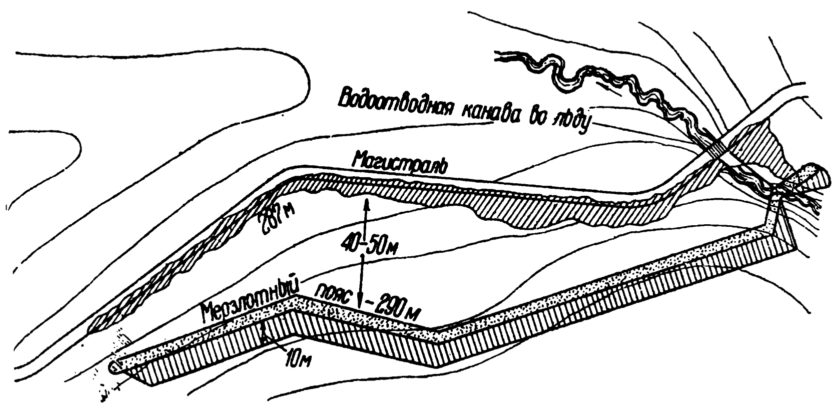
Около ряда жилых домов появлялись наледи. С целью пред
хранения зданий от наледей и отчасти для того, чтобы отвест
воду, спускающуюся с ближайших горных увалов, была устроен
водоотводная канава длиной 257 *м*, в расстоянии 70 *м* от зданий
Канава имела ширину по верху 5 *м*, по дну 0,8 *м* и глубину 2,0 *м*
Наледь в следующем году образовалась не доходя до здани
(фиг. 130).

[1] В. Г. Петров, Наледи на Амурско-Якутской магистрали, Академ
наук СССР, 1930.

По поводу этого устройства можно заметить, что пояс устроен ишком близко к зданиям; его следовало устроить несколько льше. В. Г. Петров, исследовавший эти наледи, считал нужным роить здесь второй пояс легкого типа.

Устройство мерзлотного пояса, по указанию В. Г. Петрова мощее быть типовым для грунтовых наледей, изображено на г. 131. Размеры пояса следующие: ширина канавы 5 *м*, глуна 1 *м*, ширина крыла с нагорной стороны 10 *м*. В данном слу: пояс имел длину 290 *м* и расстояние до оси дороги около -50 *м*. Наледь, ранее образовавшаяся на дороге и показанная риховкой на фиг. 131, отодвинулась вверх на пояс и дорогу льше не тревожила.

При эксплоатации следует иметь постоянное наблюдение за рзлотными поясами, защищающими от грунтовых наледей, и



Фиг. 131. Мерзлотный пояс.

і продления срока их службы, обычно не превышающего нельких лет, следует на лето прикрывать их торфом, мхом или гими теплоизоляционными материалами. Необходимость этого ановлена практикой и объясняется тем, что почва под поясом только протаивает летом, что в период холодов не может прознуть на такую глубину, на которую произошло оттаивание. результате вода проходит по талому слою и ничто не препятует свободному образованию наледей в случайных местах.

Были сделаны опыты покрытия поясов на лето, во избежание бокого протаивания грунта, изоляционным слоем из мха толной около 30 *см*. Эти опыты дали очень хороший результат. яса работали прекрасно. Само собой разумеется, что осенью ювой покров должен быть снова снят и сложен в сторону.

Для улучшения работы поясов зимой с них надо счищать снег. ег, лежащий на поясе, сильно уменьшает глубину и скорость мерзания почвы под поясом.

Мерзлотные пояса, помимо своего прямого назначения — отдаь наледи от сооружений, перехватывая грунтовую воду выше ружения, — могут служить еще для уменьшения пучения грунта пор моста или других сооружений.

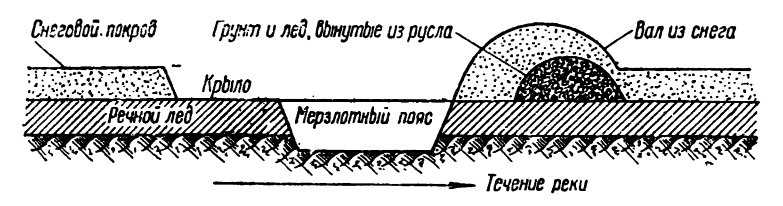
При речных наледях значительной величины, угрожающих целости моста или другого искусственного сооружения, могущих забить льдом отверстие под мостом или в трубе, также устраиваются мерзлотные пояса, имеющие целью отодвинуть образование наледи вверх по реке на расстояние, безопасное для сооружения.

Эти пояса устраиваются в виде канав во льду поперек реки глубиной от 1 до 3 *м* и шириной около 3—5 *м* (фиг. 132).

Канавы на известное протяжение вдаются в берега реки и способствуют более быстрому и более глубокому промерзанию грунта под ними в дне реки и в берегах.

Таким образом в некотором отдалении от искусственного сооружения создается ледяная преграда для вод, текущих в галечнике дна и берегов; эта преграда заставляет воды выступить на поверхность и образовать наледь в заранее намеченном месте.

Расстояние от сооружения до мерзлотного пояса зависит от величины наледи и от рельефа дна реки. Ориентировочно это расстояние можно принимать от 100 до 300 *м*. Для уменьшения



Фиг. 132. Мерзлотный пояс на реке.

объема работ и для скорейшего получения ледяной перемычки следует назначать устройство поясов на перекатах.

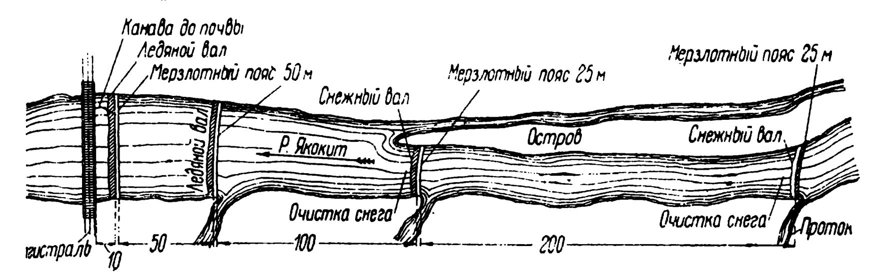
При очень больших наледях прибегают к указанному выше методу истощения, т. е. к устройству нескольких поясов.

При малых речных наледях и при наличии снега рекомендуется применять способ борьбы, состоящий в том, что в пределах моста и выше его на ближайшем перекате устраиваются поперек реки широкие снежные валы для уменьшения промерзания реки, а ниже моста во льду делают несколько прорубей для свободного выхода воды на поверхность льда, если она будет подперта промерзшим перекатом с низовой стороны.

Очень интересным примером устройства мерзлотных поясов для предохранения сооружения служат пояса на р. Якокит (фиг. 133). Устройство их описано В. Г. Петровым в его упоминавшемся труде о наледях.

«Чтобы сохранить строящийся через р. Якокит мост от неожиданного изобилия воды, пришлось прибегнуть к закладке поясов-оградителей (валы из снега и льда). Их заложено четыре: первые три спланированы с таким расчетом, чтобы напирающая на них вода отражалась в близлежащие «протоки». Четвертый заложен близ старого моста (на расстоянии 10 *м* от последнего) и представляет из себя канаву во льду, прокопанную до почвы (по способу котлованного промораживания), с той целью, чтобы вода встречала

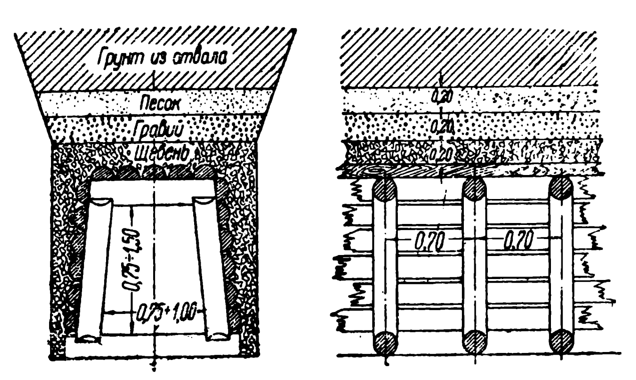
рзлотную пробку выше строящегося моста. Последний (четвертый) пояс заложен как страховка от возможной катастрофы, в случае, если бы первые три пояса не выдержали напора воды. Размеры поясов: первого (снежный) 25 *м* длины, на расстоянии от старого моста 260 *м*; второго (снежный) 25 *м* длины, на расстоянии моста 160 *м*; третьего (из снега и льда) 50 *м* длины, на расстоянии от моста 60 *м*; четвертого (канава во льду до дна реки) 50 *м* длины, на расстоянии от моста 10 *м*. Промежутки между поясами, начиная с первого: 200, 100 и 50 *м*».



Фиг. 133. Мерзлотные пояса на р. Якокит.

Для борьбы с ключевыми наледями следует каптировать ключ отвести его в безопасное место тем или другим способом, например подземным дренажем или трубой, уложенной по поверхности мли и защищенной от промерзания.

По указанию М. Я. Чернышева каптаж ключей производится юстыми деревянными подземными галлереями (фиг. 134). Их от-



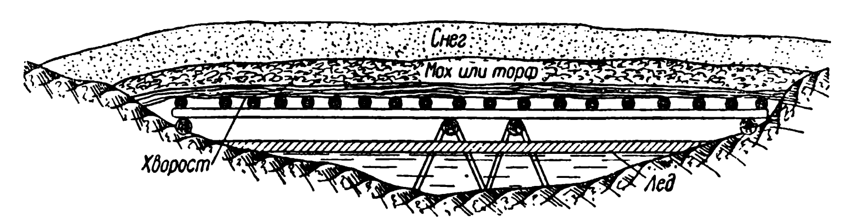
Фиг. 134. Подземная галлерея для каптажа ключей.

ичие от обычных заключается в усиленном отеплении земляной асыпью и покрытием слоем мха или торфа. Последний назначается олщиной от 0,75 до 1,0 *м* и сверху защищается местным грунтом ля предохранения от огня. Возможен каптаж ключей с помощью быкновенных колодцев.

Утепление русла имеет своим назначением обеспечить пропуск о нему воды. Оно устраивается (по А. М. Чекотилло) так, как оказано на фиг 135. Русло речки закрывается бревнами и жер-

дями, уложенными вдоль и поперек. Они опираются на берега, а в самом русле — на козла. Сверх жердей делается наброска из хвороста и ветвей, прикрытая сверху слоем мха или торфа толщиной около 20—30 *см*. В случае, если имеется снег, можно хворост сверху прикрыть слоем снега толщиной около 50 *см*.

Уничтожение наледи или наледного бугра, уже образовавшихся около сооружения, можно производить небольшими зарядами термита. Размер заряда устанавливается на месте в зависимости от



Фиг. 135. Схема отепления русла реки у сооружения (по А. М. Чекотилло).

конструкции моста и его опор и от близости расположения заряда к мосту. Возможно применение и взрывчатых веществ, если производство взрывных работ не грозит целости сооружения.

Кстати полезно упомянуть о целесообразности применения термита для уничтожения заторов и зажоров льда, могущих образовываться в реках.

Глава V

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

§ 17. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО ПОСТРОЙКЕ ФУНДАМЕНТОВ И ОПОР СООРУЖЕНИЙ

1. Общие замечания

Устойчивость сооружений в условиях вечной мерзлоты в значительной мере зависит от тщательного производства работ, проведенного в полном соответствии с местными мерзлотными особенностями. Поэтому очень важно, чтобы работы производились людьми, знакомыми с вечной мерзлотой и ее явлениями. Не менее важно и внимательное соблюдение всех специальных требований и указаний проекта. Кроме того производитель работ должен глубоко изучить свой участок, для чего ему надлежит проштудировать имеющиеся материалы, полученные исследованиями и изысканиями, а затем самому на месте ознакомиться со всей строительной площадкой.

Производство работ следует последовательно и точно сообразовывать с принятым в проекте методом строительства.

По большей части строительство придется начинать в почти нетронутой тайге и потому нужно будет начать с подготовитель-

ных работ, в основном состоящих из рубки леса, некоторого осушения местности и постройки дорог-времянок.

При строительстве, предусматривающем сохранение режима вечной мерзлоты, не только рубка леса, но рубка кустарника и уничтожение поверхностного покрова почвы нежелательны, за исключением участков, непосредственно отводимых под земляное полотно, искусственные сооружения и здания.

Особенно тщательно следует сохранять всякую растительность: 1) на склонах крутых косогоров, где возможны снежные обвалы и осыпи разрушающихся пород; 2) на склонах оползневых косогоров, а также на склонах с неглубоким залеганием слоя вечной мерзлоты; 3) возле насыпей высотой более 3 *м* и выемок глубиной более 2 *м*; 4) около зданий с южной стороны.

В районах глубокого промерзания, где мерзлота отсутствует, при гнездовой мерзлоте, а также в районах глубокого залегания вечной мерзлоты или при интенсивно деградирующей мерзлоте, рубку кустарника и уничтожение растительного покрова следует производить в возможно более широком масштабе в целях осушения местности. Поверхностный покров уничтожается выжиганием травы и другой растительности (палами). Лес необходимо по возможности сохранять, но производить расчистку его от кустарника, мелкой поросли и валежника.

Сохранение леса препятствует поднятию горизонта грунтовых вод и связанному с этим заболачиванию местности, что особенно важно в условиях вечной мерзлоты, где степень сухости деятельного слоя оказывает весьма большое влияние на устойчивость сооружений и на стоимость строительства.

Осушение местности рекомендуется производить заблаговременно возможно шире во всем районе постройки, за исключением особых случаев, когда необходимо сохранение существующего режима вечной мерзлоты.

Предварительные общие мелиоративные мероприятия предпринимаются во всех случаях при постройке в районах глубокого промерзания, при деградирующей мерзлоте или на участках, где предполагается уничтожение вечной мерзлоты, а также в местах устройства выемок.

Осушение можно осуществлять открытыми канавами, располагаемыми в зависимости от характера местных условий. Особое внимание должно быть обращено на то, чтобы отводимая вода была выпущена в действующий водоток, во избежание заболачивания новых участков местности.

При мелиорации и, в частности, при вырубке растительности, необходимо иметь в виду, что кустарники, задерживая сток воды и затрудняя проветривание поверхности грунта, способствуют увлажнению местности, а большие деревья, наоборот, задерживают на своих корнях значительное количество выпадающих осадков, высасывают в вегетационный период большое количество влаги из грунта и таким образом способствуют осушению местности.

Уничтожение мха, торфа, и травянистого покрова производится осенью посредством палов, т. е. выжигания. Что касается постройки временных дорог, то в районах, где вечная мерзлота отсутствует

или залегает очень глубоко, а также в местности деградирующей мерзлоты времянки устраивают, как обычно, по возможности с обходом заболоченных мест.

В районах устойчивой вечной мерзлоты, залегающей сразу под деятельным слоем, времянка должна быть отодвинута насколько возможно далеко от сооружения, во избежание излишнего нарушения режима вечной мерзлоты.

В болотистых местах на времянке следует устраивать слани из накатника, уложенного на продольных лежнях и засыпанного сверху грунтом, или гати из хвороста; если по времянке предусматривается проход тракторов, то накатник должен быть уложен в



Фиг. 136. Вид времянки на Амурской дороге.

два ряда по лежням, уложенным через 1 *м*, или вместо накатника должен быть применен настил из бревен. Верхний настил необходимо прикрыть слоем хорошо дренирующего грунта. Вид времянки на Амурской дороге, идущей по болотистому участку, приводится на фиг. 136. Времянка устроена, как сказано выше.

Все подсобные и временные постройки следует ставить возможно дальше от объекта строительства; в частности, при постройке небольших мостов, все подсобные устройства в воде и на берегу рекомендуется помещать ниже по течению в расстоянии 30—50 *м*.

В местах, где хозяйственная деятельность других организаций может повести к нарушению режима местности или иным образом препятствовать строительству и эксплоатации сооружения, рекомендуется устанавливать запретные зоны. Размер этих зон следует назначать в соответствии с местными условиями.

Запретные зоны могут оказаться необходимыми там, где для сохранения существующего режима вечной мерзлоты или для обеспечения устойчивости сооружений может потребоваться возведение каких-либо специальных устройств или принятие каких-либо мер вдали от объекта постройки, а также в тех местностях, где возникновение новых сооружений может препятствовать нормальному существованию и нормальной эксплоатации данной постройки. Такими местами, требующими включения в запретную зону, могут например являться районы образования больших грунтовых или речных наледей или участки, где встречаются погребенные льды.

2. Особые указания по постройке фундаментов зданий

Производство работ по постройке фундаментов зданий необходимо поставить в зависимость от метода строительства (§ 12).

При строительстве по методу сохранения вечной мерзлоты необходимо рекомендовать зимнее производство работ. Зимнее же производство работ целесообразно и при водообильных грунтах, требующих мощных водоотливных средств. В первом случае зимнее производство работ мало потревожит вечную мерзлоту, и сохранить ее в основании сооружения будет не так трудно. Отрытый зимой котлован не будет прогрет атмосферным теплом. В почве не останутся среди мерзлоты массивы талого грунта, образовавшиеся при обратной засыпке фундаментов. Кроме того и сам фундамент, возведенный зимой, не будет иметь такой высокой температуры, как летом. Очевидно, что зимой запас тепла, аккумулировавшегося в засыпке и в самом теле фундамента, окажется гораздо меньше того запаса тепла, который мог бы образоваться в них летом, не говоря уже о сильном прогреве поверхности мерзлоты и стенок котлована, заглубленного в слой вечной мерзлоты.

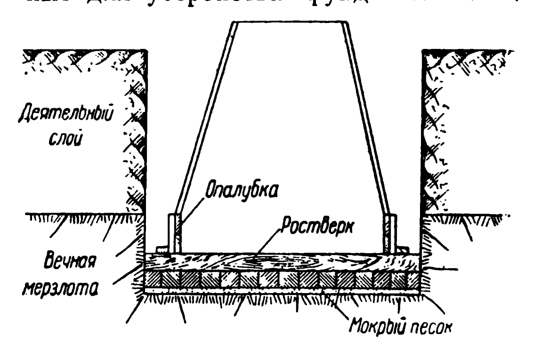
С другой стороны, некоторые сооружения могут быть спроектированы в предположении заделки нижней части фундаментов в слое вечной мерзлоты, чтобы воспрепятствовать пучению деятельного слоя (фиг. 76). В таком случае устройство опор зимой становится не только желательным, но почти обязательным, ибо, возведя опору, надо ее закрепить в мерзлоте. А это можно сделать только восстановив выбранный при отрывке котлована мерзлый слой грунта путем промораживания его зимой. Иначе, надо сделать искусственное промораживание или считаться с возможностью выпучивания опоры вследствие пучения деятельного слоя.

Построить фундамент летом, засыпав котлован талым грунтом, нельзя, так как ко времени замерзания и пучения деятельного слоя мерзлота сама не восстановится. Ждать зимы, не засыпая котлована, недопустимо, ибо мерзлота протает если не принять особые меры, например закрыть котлован особым нетеплопроводным материалом. Последнее не всегда возможно и удобно, так как будет трудно достаточно хорошо изолировать котлован от проникновения тепла, и кроме того его надо изолировать еще от воды поверхностной и грунтовой, а это почти немыслимо. Поэтому во всех случаях, когда решено строить сохраняя мерзлоту и пользуясь ею

для предохранения фундаментов от пучения, следует настойчиво рекомендовать ведение работ в холодное время.

При водообильных грунтах зимнее производство работ очень выгодно тем, что вместо сложных и дорогих водоотливных средств можно применить проходку водообильных слоев посредством промораживания их. Проморозка грунта и даже воды в речке при постройках фундаментов сооружений весьма распространенный, простой и дешевый способ. Он описан далее в разделе 6 этого параграфа.

Разработка мерзлого грунта в котлованах представляет большие затруднения, если вести работы обычным способом. Поэтому следует пользоваться особыми приемами разработки вечномерзлых грунтов. Все возможные способы разработки грунта разобраны далее. Здесь следует указать только на способы наиболее рациональные для устройства фундаментов. К ним относятся: разработка взрывчатыми веществами, пропаривание грунта паровой иглой и иногда пожогами. При строительстве по методу сохранения мерзлоты особенно рекомендуются первые два способа, так как при них вечная мерзлота бывает наименее потревожена, что очень важно при этом методе строительства.



Фиг. 137

После того как котлован выбран до нужной глубины, на поверхность слоя вечной мерзлоты, для выравнивания ее, следует насыпать возможно более тонкий слой мокрого песка и затем уложить деревянный ростверк так, чтобы он закрыл все дно котлована (фиг. 137). На ростверке возводится тело фундамента. Так как в большинстве случаев фундамент бетонный или бутобетонный, то на ростверк ставят опалубку. После изготовления опоры опалубку можно не снимать, а оставить на месте. Засыпку котлована в пределах вечной мерзлоты необходимо выполнить из мокрого песка или песчанистого грунта и обязательно подвергнуть ее промораживанию, не засыпая грунтом верхнюю часть опоры.

Опускание колодцев и заглубление свай в слой вечной мерзлоты наиболее удобно производить при помощи американской паровой иглы, так как пропаривание грунта иглой происходит сравнительно быстро и можно протаять довольно точно столько грунта, сколько требуется в том или ином случае.

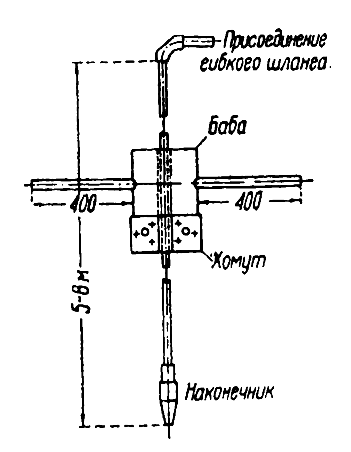
Стремясь сохранить слой вечной мерзлоты, надо заботиться о недопущении в котлован поверхностных и грунтовых вод. Указания о работах в тепляках приведены в разделе 4 настоящего параграфа.

3. Применение паровой иглы и электропрогрев грунта

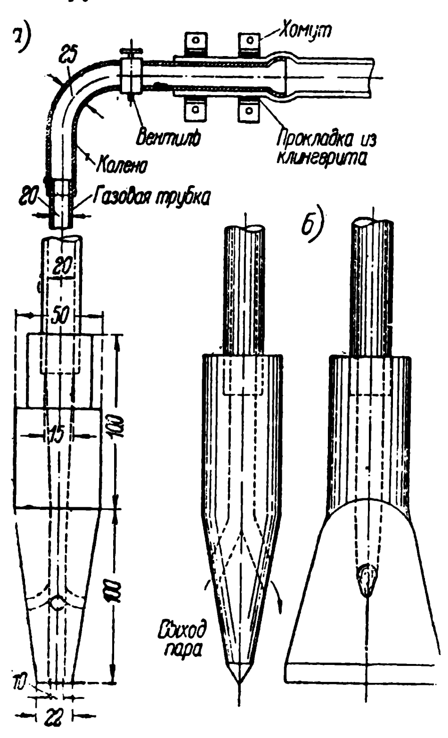
Американская паровая игла (фиг. 138) представляет собой про-
ую газовую железную трубу $d = 20$—40 *мм*, длиной до 5—8 *м*, абженную с одной стороны наконечником, а с другой имеющую желый оголовник или бабу весом около 10—15 *кг*, с горизон-льными ручками. Верхний конец газовой трубы соединен гибким лангом с паровым котлом.

Наконечники бывают двух типов (фиг. 139): один для работы легких, а другой — в тяжелых грунтах. Наконечники имеют не-олько отверстий для вы-да пара. Присоедине-е гибкого шланга де-ется, как обычно, по-едством колена и имеет нтиль для регулирования тока пара.

Пар подается от паро-го котла и проходит через убу, заглубленную в поч-



Фиг. 138. Американская паровая игла.



Фиг. 139. Наконечники для паровой иглы: *а* — для легких грунтов, *б* — для тяжелых грунтов.

у, в мерзлую среду, оттаивая ее. Один котел может питать не-колько игл (фиг. 140).

Иглу погружают в грунт, нажимая руками на рукоятку ого-овника, а при тяжелых грунтах — путем легкого постукивания еревянным или металлическим молотком по оголовнику; одно-ременно через иглу пропускается пар (фиг. 141). Работу удобнее сего вести с козел, уложив на землю квадратный щит из дерева ли листа железа размером около 1 $м^2$, с отверстием для иглы осередине.

Давление пара берут от 2 до 8 *ат*, поэтому пар вырывается из глы с большой силой. Пар и частицы грунта могли бы обжечь

рабочего, если бы на земле не был положен щит. Иглой работает один человек, иногда два, но не больше.

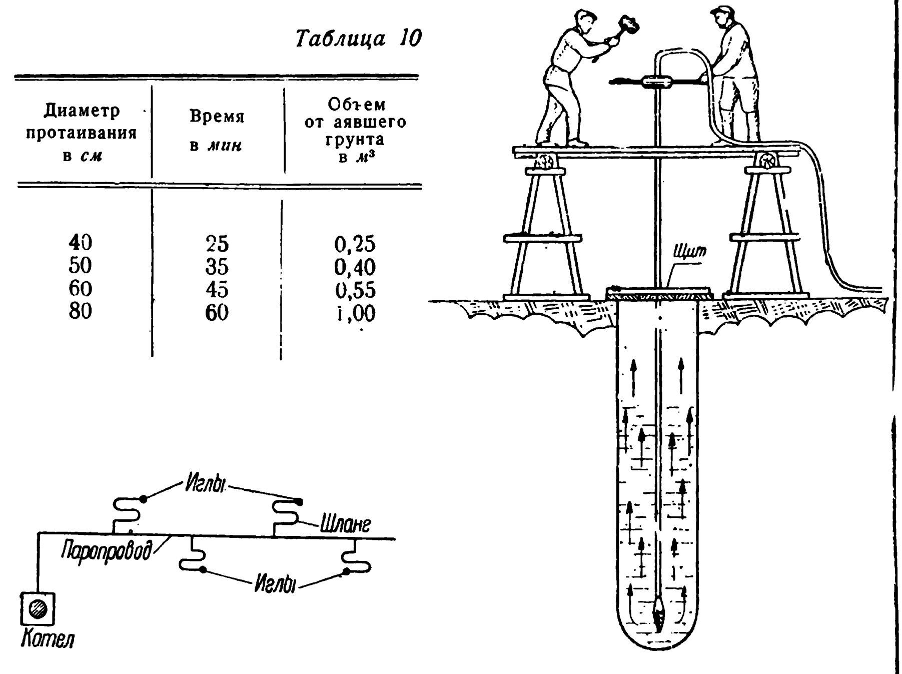
Можно вместо специального оголовника (фиг. 138) конец трубы просто оттянуть и сделать в нем несколько боковых отверстий. Изготовление иглы доступно самой несовершенной мастерской.

Скорость пропаривания грунта довольно велика и зависит от диаметра иглы и давления пара. Чем больше диаметр иглы и чем выше давление пара, тем интенсивнее протаивание почвы.

В обычных мерзлых грунтах, по данным инж. С. Я. Боженкова, при давлении пара около 5 *ат*, глубине пропаривания около

Таблица 10

Диаметр протаивания в *см*	Время в *мин*	Объем оттаявшего грунта в $м^3$
40	25	0,25
50	35	0,40
60	45	0,55
80	60	1,00



Фиг. 140.

Фиг. 141. Пропаривание грунта иглой.

2 *м*, при игле диаметром 20 *мм*, получается следующая скорость протаивания, в зависимости от диаметра протаиваемого столба (табл. 10).

При увеличении давления пара с 5 до 8 *ат* скорость протаивания увеличивается на каждую атмосферу примерно на 10%, т. е. при доведении давления до 8 *ат* всего на 30%.

По сообщению проф. Щелокова при работах в Московской области в обычных мерзлых грунтах протаивание 1 $м^3$ грунта в 1938—1939 г. обходилось в 2 руб. 34 коп.

При работах в грунтах с содержанием влаги до 60—70%, при паровой игле $d = 40$ *мм*, за 10 рабочих часов удавалось оттаивать 8—9 скважин (вечномерзлого грунта) диаметром 35—40 *см* на глубину 2,70 *м*. По сведениям инж. Н. И. Быкова и П. А. Бялыницкого в супесчаных и суглинистых грунтах, при да-

лении пара около 8 *ат*, на протаивание столба грунта на глубину о 6—7 *м* для свай затрачивали около 20 *мин*. Многие считают, то выгоднее всего вести работы при котлах, могущих дать давлеие пара не менее 6 *ат*, а лучше около 8 *ат*, но можно работать при низких давлениях — не свыше 4—5 *ат*. В последнем случае аботы идут немного медленнее.

Очень существенно отеплять паропроводы, чтобы пар не охлаждался при проходе по шлангу от котла к игле. Падение авления из-за охлаждения шланга на морозе в 30—40° значиельно.

После того как грунт протаян иглой, сваю заглубляют в грунт бычным способом. Свая легко идет в грунт; так, заглубление ваи на 6—7 *м* занимало не более 20 *мин*.

Забивку свай с помощью паровой иглы лучшего всего производить в начале зимы, при наступлении первых холодов. Деятельый слой можно не проходить, выбрав его до поверхности вечной ерзлоты. Опускание свай, в таком случае, начинается непосредтвенно с поверхности мерзлоты.

Сваи, забитые в протаянную мерзлоту, до ее восстановления ставляют незагруженными и в открытом котловане до весны. олько перед наступлением тепла котлован, в пределах деятелього слоя, заполняют галькой.

В случае необходимости сократить срок, в течение которого ваю оставляют незагруженной, следует убедиться в восстановлеии вечной мерзлоты, например, при помощи контрольных буровых кважин или выдергиванием свай. Срок, в течение которого востанавливается мерзлота, протаянная паровой иглой, неопределеен и зависит от местных условий. По сведениям инж. Н. И. Быова, восстановление мерзлоты зимой происходило в течение 1,5—2 месяцев.

Лучшим временем для пропаривания грунта с целью устройтва свайных оснований некоторые инженеры считают период нварь — июнь.

Котлован, в котором производится пропаривание, необходимо предохранять от проникновения снега и воды. Последнюю следует периодически удалять откачкой, а лед скалывать. Во избежание попадания снега котлован полезно накрыть щитами из досок.

Паровая игла нашла широкое применение в Америке (в Аляске), отчего она и называется американской. В Америке посредством паровой иглы протаивают сразу большие площади, применяя для этого много десятков одновременно действующих игл, поставленных на нескольких параллельных паропроводах.

Пропаривание грунта иглами выше было рекомендовано для различных работ, и действительно этот способ разработки мерзлых грунтов один из наиболее простых и эффективных.

Интересный способ протаивания был применен в Соликамске, где для этого использовалось электричество. Он состоял в следующем. В скважины $d = 60$ *мм*, пробуренные в мерзлоте, опускался электронагреватель и оставлялся там на некоторое время.

В Соликамске электронагреватели опускались на 6 *час* и оттаивали столб диаметром 0,80 *м*. расходуя энергии 0,3—0,4 *квт/час*.

Электронагреватель имел следующее устройство. Железный круглый стержень $d = 19$ *мм* обертывался слоем листового асбеста толщиной в 3 *мм* и на него спирально навивалась тонкая печная или вязальная проволока. Сверху спираль окружалась снова асбестом и помещалась в газовую трубу $d = 50$ *мм* с нижним запаянным концом, которая и опускалась в предварительно сделанную в почве скважину.[1] Труба была соединена с источником электрического тока.

4. Особые указания по постройке опор мостов и других сооружений специального назначения

В том случае, когда предполагается вести строительство опор по принципу сохранения мерзлоты, лучшим временем для производства работ по отрывке котлованов, заглубленных в слой вечной мерзлоты, является период первых заморозков, т. е. начало зимы. Режим вечной мерзлоты при работе в этот период нарушается наименьшим образом. Деятельный слой в это время еще не успел промерзнуть, так что его можно пройти без затруднений. Вместе с тем, при большой влажности деятельного слоя, в это время может быть применено производство работ с промораживанием. При отсутствии слоя вечной мерзлоты или при глубоком ее залегании и обильной влажности грунта тоже можно рекомендовать вести работы в холодное время года, так как и при этих условиях вполне возможно применить промораживание котлована.

Разработка слоя вечной мерзлоты производится вручную, пневматическим инструментом, пожогами, протаиванием паровой иглой и взрывами. Если предполагается сохранить мерзлоту, то рекомендуется применять последние два способа, наименее нарушающие режим вечной мерзлоты.

Котлован, в зависимости от рода грунта, следует делать шире фундамента на 1—1,5 *м* в песчанистых и гравелистых грунтах и 1,5—2 *м* в глинистых и илистых грунтах.

При производстве работ пожогами отрываемые в вечной мерзлоте стенки котлована следует прикрывать мхом, торфом, соломой и т. д. обшивая эту одежду снаружи досками, во избежание протаивания и оплывания стенок котлована.

При производстве работ как в летнее, так и в зимнее время, в случае необходимости сохранить основание мерзлым, а также вообще во избежание затруднений, необходимо тщательно предохранять котлован от поверхностной и грунтовой воды, устраивая водоотводы или откачивая воду. Бетонирование фундамента или кладку его следует производить сразу после отрывки котлована, в тепляке, если отрывка была сделана осенью или зимой. Произ-

---

[1] Чрезвычайно интересные данные о пропаривании грунтов и об электропрогреве можно найти в следующих новых работах: 1) М. Н. Шестаков, Механизация земляных работ в зимнее время, Строительство Москвы, № 2, 1940; 2) Ю. С. Верниковский, Рыхление мерзлых грунтов в зимнее время, Строительная промышленность, № 7, 1939.

дя работы в тепляке, при желании сохранить мерзлоту в основании сооружения, необходимо придерживаться следующих указаний.

Перед отеплением тепляка стенки котлована в пределах деятельного слоя надо прикрыть мхом, торфом или соломой и обшить досками, чтобы тепло из котлована не проникало в грунт. В котловане температура воздуха должна быть не ниже 0° и желательно не выше +5° Здесь необходимо отметить, что некоторые цементы не схватываются и не твердеют при температурах от 0 до +5°. Поэтому температурный режим в котловане должен быть сообразован с этим обстоятельством.

Раствор и бетон должны быть взяты качества и состава, как для бетонирования на морозе. Камень, песок и воду для бетона нужно подогревать. Для ускорения процесса схватывания бетонной смеси целесообразно применять вибрирование.

Печи для отепления котлована следует помещать наверху, на поверхности земли, например в помещении для обогревания материалов, так как иначе в котловане температура поднимется выше допустимого предела, что вызовет прогрев мерзлоты.

После укладки на поверхность обнаженной мерзлоты подготовительного слоя и деревянного ростверка зазоры между ростверком и стенками котлована следует засыпать мокрым песком, плотно утрамбовав его, затем на ростверк поставить заранее заготовленную опалубку и забетонировать часть опоры на 0,50—1 *м* выше уровня земли. Бетонирование или кладка фундамента должны быть сделаны возможно быстрее, чтобы уменьшить прогрев мерзлоты.

Возведя опору до указанного уровня, прекращают каменные или бетонные работы и, выдержав сооружение в тепляке минимальное время, необходимое для приобретения раствором или бетоном нужной прочности, тепляк остужают и снимают. Одновременно удаляется также нижняя часть одежды стенок котлована — мох, торф, доски и т. д., а зазоры между фундаментом и стенками котлована в пределах слоя мерзлоты зарывают мокрым песком. Эту засыпку подвергают действию мороза для восстановления мерзлоты. Если сроки работы позволят, котлован полезно закрыть сверху досками и в таком состоянии оставить до весны.

Проморозив засыпку из песка в пределах слоя вечной мерзлоты и оттаявшие стенки котлована, остальную его часть заполняют в конце зимы галькой или другим хорошо дренирующим материалом, если это не вызывает осложнений и удорожания. Обделку стенок в пределах деятельного слоя полезно оставить как защиту от заиливания засыпки. Опалубку, если она была сделана, лучше тоже оставить в грунте. Заглаживание граней опоры в пределах деятельного слоя производится параллельно возведению кладки.

Верхнюю часть опоры можно возводить летом. Если же нужно вести работы и далее зимой в тепляке, то после заполнения котлована до уровня земли вокруг опоры следует уложить теплоизоляционную подушку из слоя шлака, золы, мха, торфа, соломы или хвои и т. д., сверху прикрыв их грунтом. Подушка должна

быть толщиной не менее 50 *см*. Можно рекомендовать устраивать под подушкой особые каналы для доступа холодного воздуха к фундаменту опоры. Обсыпку устоев (если предполагается сохранить слой вечной мерзлоты) следует произвести до наступления тепла; для обсыпки следует брать хорошо дренирующий грунт, лучше мерзлый, с тщательной утрамбовкой. При иных грунтах сзади устоя необходимо укладывать дренажные галечные или гравелистые слои.

Постройка опор на ряжах, в случае скального основания, может быть произведена в любое время года. Если каменную подсыпку под ряж располагают на слое вечной мерзлоты, правильнее вести работы зимой, к весне уложить первые венцы ряжа и полностью засыпать котлован. При водообильном деятельном слое, даже и при скальном основании, удобнее вести работы зимой способом проморaживания. Заполнять ряжи весьма рационально материалами различной крупности — булыжником, галькой и гравием или крупным песком, чтобы получить возможно более тяжелый ряж.

Все подсобные и производственные постройки, материалы, времянки и т. д., а также помещения для рабочих надлежит располагать ниже моста, на расстоянии не менее 25 *м* от его оси. Какое бы то ни было нарушение режима местности выше моста совершенно недопустимо.

5. Особые указания по постройке подземных сооружений

При производстве работ по обделке туннеля из каменной или бетонной кладки необходимо на участках туннеля, где производится эта работа, поддерживать температуру, обеспечивающую схватывание и твердение бетона (не менее $+5°$), в течение времени, достаточного для получения расчетной прочности раствора или бетона при данном сорте цемента. Для сокращения этого срока следует применять высокосортные цементы и вести работы наиболее быстрым темпом.

Там, где мерзлая горная порода в туннеле при таянии может получить характер плывуна или состоит из отдельных кусков скалы, скованных льдом, заполняющим промежутки между камнями, при возведении фундаментов, стен и свода обычной каменной или бетонной обделки следует устраивать тепловую изоляцию из дерева, чтобы сохранить породу в мерзлом состоянии на период твердения раствора или бетона.

Большое внимание должно быть уделено устройству гидроизоляции. Эти работы надо вести особенно тщательно. Полезно помнить, что во многих случаях в этих условиях грунтовые воды оказываются агрессивными и могут разрушить кладку, если не принять соответствующие меры.

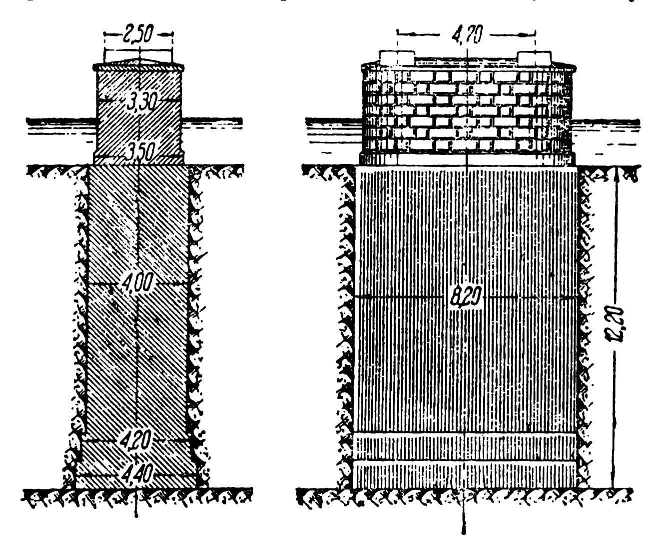
6. Промораживание котлованов и предохранение их от воды

Производство работ по выборке котлованов в условиях вечной мерзлоты встречает нередко почти непреодолимые затруднения вследствие водообильности почвы и невозможности забить

грунт. Между тем необходимость сохранить слой вечной мерзлоты в основании сооружения требует особых мер по предохранению котлована от попадания в него поверхностных и грунтовых вод.

Удаление воды из котлована по большей части стоит больших денег, так как сильная влажность почвы и приток грунтовых вод требуют мощных центробежных насосов с механическим приводом. Вместе с тем, если вести работы в холодное время года, можно гораздо дешевле и проще достигнуть возможности работать без водоотлива, воспользовавшись способом промораживания грунта естественным холодом.

При низких температурах воздуха в зимнее время, даже в южных районах вечной мерзлоты достигающих минус 30—40°,



Фиг. 142. Речной бык моста с пролетами по 85 *м*, заложенный посредством промораживания.

способ промораживания котлована естественным холодом чрезвычайно целесообразен.

Достоинством способа промораживания является то существенное обстоятельство, что при применении его режим вечной мерзлоты нарушается очень мало. Кроме того этот способ прост и дешев. [1]

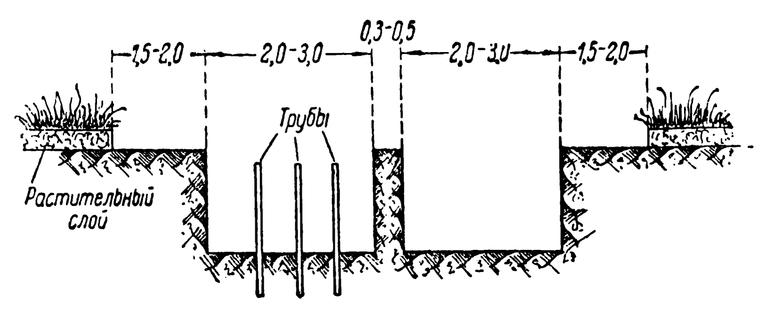
Промораживать можно не только грунт, но и воду в реке. Вследствие этого промораживанием удается заменить такой сложный и дорогой способ постройки опор в воде, как кессоны. Опыт применения промораживания достаточно велик, и этот способ практически вполне испытан.

Интересным примером заложения опор способом проморажи-

---

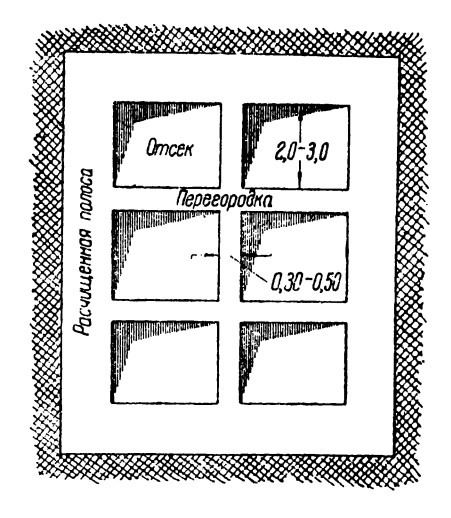
[1] Новые данные по вопросу о промораживании котлованов имеются в статье Б. Т. Суворова и С. Д. Чистопольского, Новый метод вымороэочных работ в водоемах, Строительная промышленность, № 1, 1940.

вания служит, например, бык моста с 85-*м* фермами, заложенный на глубине 12,20 *м* от дна реки или 13,90 *м* от поверхности воды (фиг. 142). Там было сделано промораживание слоя воды в 1,7 *м*, слоя гальки в 2,5 *м* и слоя бурой иловатой глины мощностью в 9,7 *м*.



Фиг. 143. Схема устройства котлована при промораживании.

Промораживание котлована в грунте производится следующим образом (фиг. 143). С наступлением морозов котлован отрывается до уровня грунтовых вод в пределах слоя, где работа может быть сделана без водоотлива. Котлован выбирают не весь, а разгораживают его земляными продольными и поперечными стенками толщиной 30—50 *см*, получая таким образом несколько отсеков (фиг. 144) размером в плане около 2×2 *м* или более. Эти отсеки нужны по той причине, что позже, когда будет производиться углубление котлована, вода случайно может прорваться в котлован и затопить его. В таком случае придется для продолжения работ сначала откачивать много воды или, дав ей замерзнуть, выкалывать много льда. При наличии же перегородок будет затоплен только один отсек, который не так сложно привести в порядок.



Фиг. 144. План котлована при промораживании.

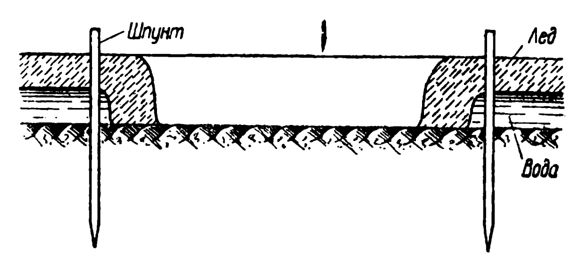
Для улучшения условий промерзания боковых стенок котлована вокруг него с поверхности земли необходимо удалить верхний растительный моховой или торфяной покров. Отрытый котлован оставляют открытым на морозе на несколько дней, пока дно его не промерзнет на глубину 30—50 *см*. В зависимости от температуры воздуха, это происходит в течение 4—7 дней. При этом следует убирать снег со дна котлована и с оголенной поверхности вокруг него.

Глубина происшедшего промерзания устанавливается сверле-

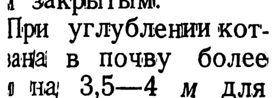
:м мерзлой почвы сверлом в нескольких местах. Из установлен- ǀ таким образом толщи замерзшего слоя выбирают часть грунта :, чтобы оставшаяся мерзлая часть имела толщину не менее *см.* Сняв часть слоя, снова оставляют котлован промерзать, ем опять производят выемку мерзлого грунта. Процесс повто- :тся до тех пор, пока котлован не будет выбран до необходи- ǀ глубины.

Выемку грунта производят ломами и кирками, но можно при- іять также пожоги, т. е. разжигание костров и даже взрывча- : вещества. Последнее требует большого опыта, умения и орожности. При употреблении пожогов стенки котлована сле- :т обложить мхом, торфом или соломой и закрыть досками, бы не прогреть мерзлоту в стенках теплом от костров.

Если при определении глубины промерзания сверлением через ажину в котлован прорвалась вода, скважину надо заглушить евянной или железной пробкой. При обнаружении в котловане оча его следует от- ти или заглушить. я ускорения про- зания в грунт заби- от железные ломы ı лучше железные бы с верхним от- ытым концом и ниж- м закрытым.



Фиг. 145.

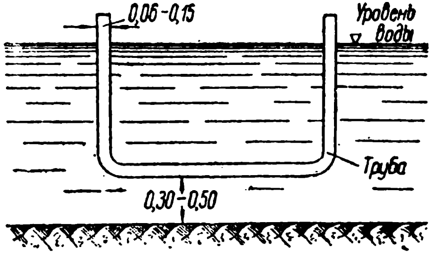

При углублении кот- ана в почву более ı на 3,5—4 *м* для ления промораживания дна котлована на Забайкальской до- е применяли вентиляторы, приводимые в действие конным при- ом. Вентиляторы вгоняли холодный наружный воздух на дно :лована. Проф. А. Н. Пассек[1] рекомендует пользоваться для ого ветром, устраивая паруса или особые воронки, направляю- е воздух в котлован. После того как котлован будет выбран нужной глубины, стенки котлована обделываются досками, под орые подкладывают мох, солому или другие теплоизоляцион- е материалы и устраивают тепляк. Работы в тепляке ведут как ычно. Указания об этих работах даны в разделе 4 этого пара- фа.

Промораживание воды в реке, а затем грунта русла реки, изводится аналогичным образом. Для ускорения работы, в ме- : проморозки реки рекомендуется замедлить течение, например иг. 145) забив шпунт или свайки. Котлован попрежнему делят отсеки и ведут постепенную выколку льда, слой за слоем. обходимо учитывать, что вода промораживается примерно три раза медленнее, чем грунт.

Производивший в свое время такие работы проф. А. Н. Пассек комендует на основе своего опыта ускорять проморозку воды

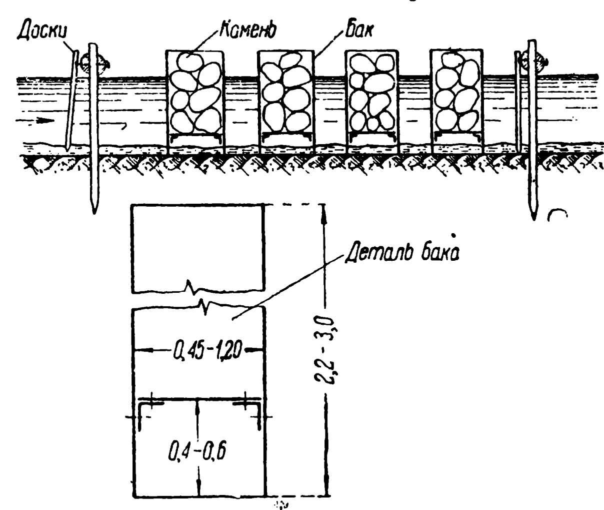
[1] А. Н. Пассек, Проморозка котлованов, Известия собрания инженеров тей сообщения, № 14, 1915.

посредством труб. Последние опускают в воду с одним закрытым концом, или же гнут, придавая им форму латинской буквы U для возможности свободной циркуляции воздуха (фиг. 146), что ускоряет процесс промораживания почти в 1,5—2 раза. Диаметр труб должен быть достаточно большим, от 6 до 15 *см*.



Фиг. 146.

Наиболее целесообразным А. Н. Пассек считает применение железных баков (фиг. 147). Баки склепываются или свариваются из железных листов толщиной 3—5 *мм* и делаются круглыми диаметром от 45 *см* и более. Баки должны быть водонепроницаемы. Дно баков следует делать несколько выше от конца цилиндра, для того чтобы бак можно было вдавить в грунт на глубину 20—40 *см*. Баки затопляют загружая их камнем так, чтобы верхний край их был выше уровня воды в реке. Баки размещают на расстояниях друг от друга около 55—65 *см* в свету, чтобы между ними поместился человек, который будет вести работы. Камень из баков вынимают как только бак вмерзнет в лед. Для ускорения промерзания между баками в воду набрасывают лед и снег.



Фиг. 147. Промораживание котлована в реке при помощи железных баков.

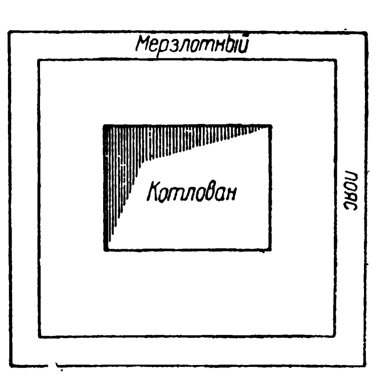
Промораживание воды вызывает подпор, и лед на реке иногда начинает пучить; поэтому рекомендуется ниже места промораживания на расстоянии 80—100 *м* сделать несколько прорубей во льду реки.

В некоторых случаях возможно уменьшить водообильность грунта устройством мерзлотных поясов. Мерзлотный пояс,

троенный поперек потока грунтовой воды, преградит ей доступ котловану.

Иногда может оказаться весьма удобным просто окружить тлован мерзлотным поясом (фиг. (148). Для этого в нескольких трах от края котлована по всему его периметру отрывают ров риной около 1,0 *м* и глубиной в 1,5—2,0 *м* в зависимости от го, как позволит грунтовая вода. Вместе с тем оголяется от по рхностного растительного покрова и некоторое пространство унта около рва, примерно на 1,5—2,5 *м* в стороны. Грунт стенках и на дне рва промерзает и смыкается с водонепроницаем горизонтом — слоем вечной мерзлоты, скалы или глины, преащая воде доступ в котлован. Если надо сделать глубокое прораживание, дно канавы можно углубить уже в мерзлом состои, постепенно, по мере проморажиния, удаляя мерзлое дно рва слой слоем.

Промерзание будет происходить в еднем ориентировочно на 1—1,5 *м* в —25 дней и зависит от состава грун, влажности и температуры воздуха. время промораживания надо из тлована и с оголенных участков ирать снег и удалять воду и лед. реимущество этого способа заключася в возможности производить вырку грунта в самом котловане, ея дело с талым грунтом, а не с зароженным, что несколько проще и егче. Конечно, этот способ возмоен лишь при соответствующих благоприятных обстоятельствах. [1]



Фиг. 148. Схема применения мерзлотных поясов для предохранения котлована от воды.

§ 18. ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

1. Общие указания и соображения

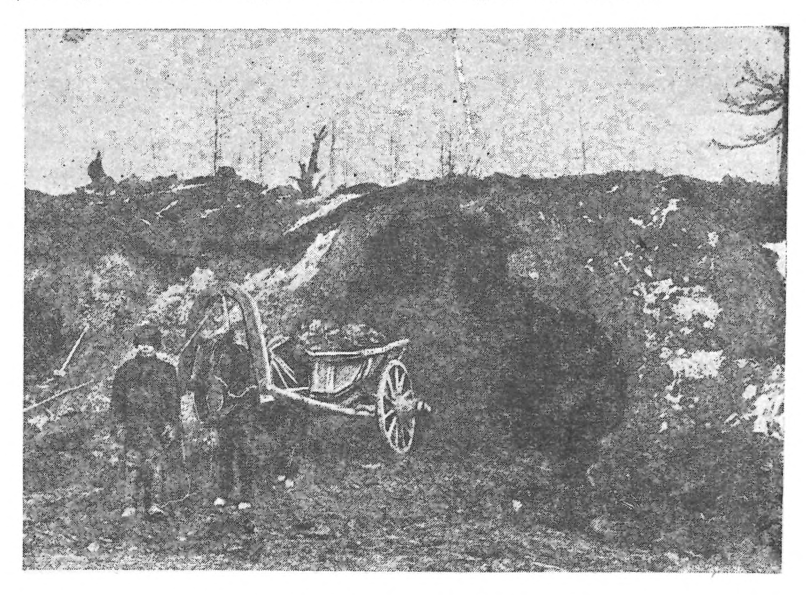
Ввиду особой сложности строительства в вечной мерзлоте и возможности в проекте земляных сооружений исчерпывающе честь абсолютно все местные условия и обстоятельства, процесс ыполнения строительных работ должен не только находиться строгом соответствии с проектом сооружений, но должен быть сно увязан на месте со всеми местными особенностями, посредвом изучения их по материалам проекта и даже особых разведочных работ в необходимых случаях. Вследствие этого от производителя работ требуется отличное знание в мерзлотном отношеии участка, на котором производятся работы, и внимательный чет не только указаний проекта, но и местных особенностей.

---

[1] Интересные данные об устройстве оснований в водоносных грунтах и в чной мерзлоте можно найти в статье А. Ф. Михайлова в журнале Транспортное строительство № 7—9, 1933.

Разработка мерзлых грунтов в районах, занятых вечной мерзлотой, в выемках и котлованах весьма затруднительна, обходится очень дорого и требует много времени. Нередко стоимость разработки мерзлого грунта приближается к стоимости разработки скального грунта в обычных условиях.

Это происходит с одной стороны вследствие того, что мерзлый грунт очень прочен. Были случаи, когда испытание прочности мерзлого грунта на сжатие давало временное сопротивление свыше 100—120 *кг/см*². Прочность мерзлого грунта очень наглядно характеризуется фиг. 149, где виден свод из тонкого слоя мерзлого грунта, получившийся вследствие того, что в этом месте был выбран гравелистый грунт. Свод подпорок не имеет.



Фиг. 149. Свод из мерзлого грунта.

Другая причина высокой стоимости работ заключается в том, что многие мерзлые грунты, оттаивая, плывут и удержать их почти невозможно; некоторые грунты, оттаивая, образуют массу, по которой невозможно ходить и ездить. В ней тонут и люди и лошади. Грязная, заплывающая грунтом выемка показана на фиг. 150.

Выбирая способ и время разработки вечномерзлого грунта, нужно различать, во-первых, состав грунтов и, во-вторых, степень их влажности. [1]

Грунты хорошо дренирующие — галечные, гравелистые и крупнопесчанистые — можно разрабатывать и зимой и летом; в теплое время приходится принимать некоторые меры для замедления оттаивания их, если они переувлажнены.

---

[1] Некоторые данные о разработке мерзлых грунтов можно найти в перечне литературы, приведенном в конце книги.

Землистые грунты, т. е. глинистые, мелкопесчанистые, пылеые и илистые вообще желательно разрабатывать зимой; летом работка этих грунтов допускается только если они не переважнены, т. е. если влажность их ниже 30%.

Разработку мерзлых грунтов можно производить несколькими особами:

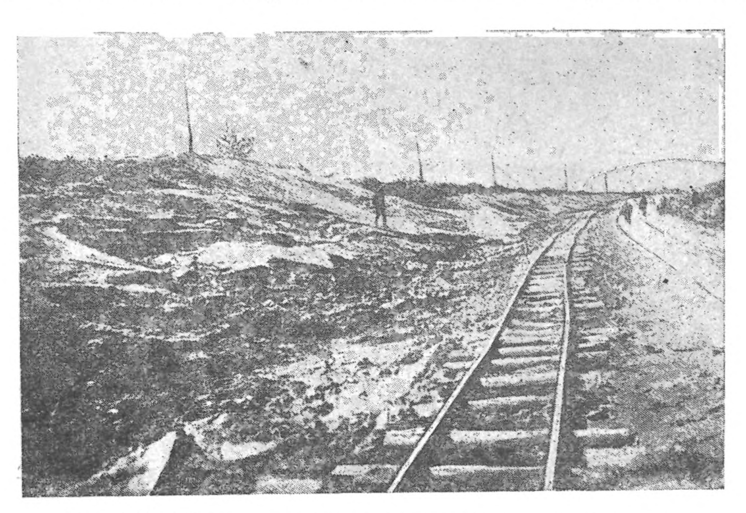
1) в мерзлом виде — режущим и дробящим инструментом;

2) в мерзлом виде — посредством взрывчатых веществ;

3) в талом виде — при помощи оттаивания естественным лом;

4) в талом виде — в результате применения пожогов;

5) в талом виде — посредством оттаивания паровой иглой.



Фиг. 150. Грязная выемка с оплывающими откосами.

Все перечисленные способы далее рассмотрены подробно в це- ознакомления с ними и возможности выбора наиболее приного для того или иного частного случая.

а) Разработка грунта в мерзлом виде посредвом режущих и дробящих инструментов. Разботка мерзлого грунта лопатами невозможна, так как этот грунт столько прочен, что лопата его не может взять. В некоторых учаях применяют лопаты, предварительно нагретые на огне стров. Но работа с нагретыми лопатами невыгодна, ибо их придится повторно нагревать, на что уходит много времени и труда. ля работы нужен двойной или даже тройной запас лопат и ого рабочих для поддержания костров, подготовки дров и наевания лопат. Сами же лопаты от нагрева быстро приходят негодность.

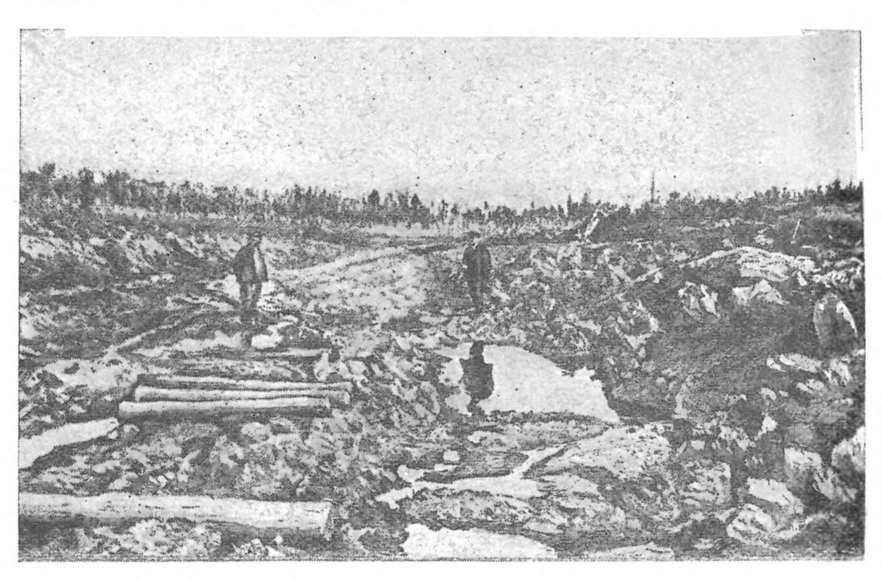
Этот способ может быть приемлем при значительной влажнои грунта и при мягких глинистых грунтах, если объем работ велик. Достоинство такой разработки в том, что можно выбрать вно столько грунта, сколько требуется, что далеко не всегда стижимо при иных способах разработки мерзлого грунта, кроме

того, при этом методе не нарушается естественный режим вечной мерзлоты.

Применение кирок и ломов для предварительного разрыхления грунта допустимо, но не очень эффективно. Мерзлый грунт дробится с трудом, и чтобы добиться результатов нужно много времени и сил.

Ориентировочно в среднем один рабочий в нормальное время едва ли может разработать при большой влажности грунта более 0,75—1,2 $м^3$, а при средней влажности — 1,2—2,0 $м^3$.

Более эффективно для разрыхления грунта применение пневматического инструмента.[1] Но это требует соответствующего оборудования, т. е. компрессоров.



Фиг. 151. Скопление воды в грязной заплывающей грунтом выемке.

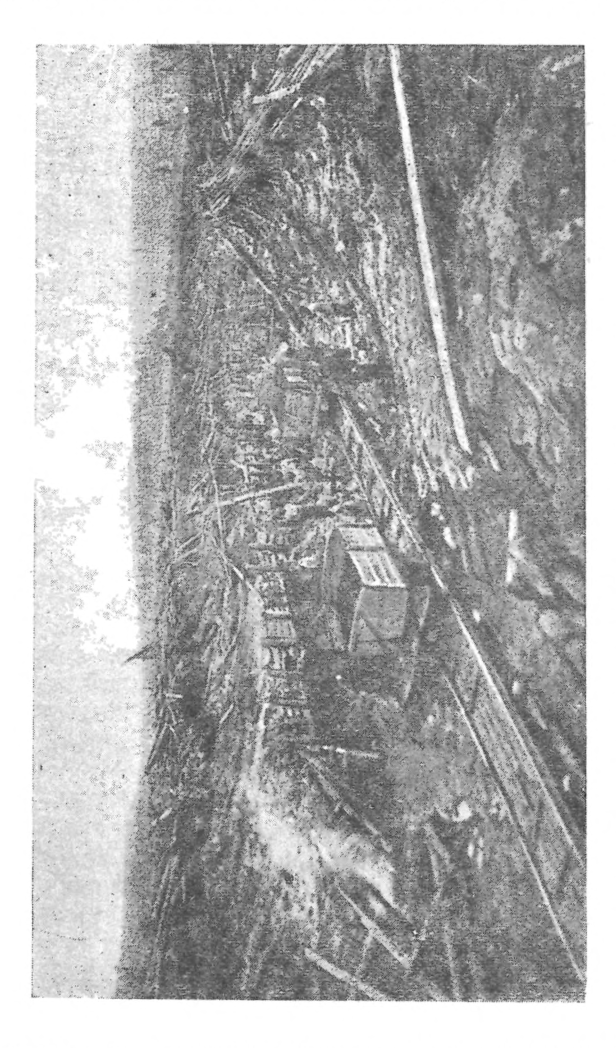
Летом разработка грунта рассматриваемым способом сильно затрудняется тем, что поверхность мерзлоты и раздробленные комья ее быстро оттаивают и превращаются в грязь. Приходится работать в грязи. Откосы, протаивая, начинают оплывать, сползая в выемку или в котлован. В углубления набирается вода из тающего грунта (фиг. 151), иногда пополняемая дождями, вследствие чего оттаивание мерзлоты происходит еще интенсивнее. Отвести воду не всегда удается, откачать ее часто почти невозможно; устроить шпунтовое ограждение нельзя. В результате приходится иметь дело с сильно размокшим грунтом, по которому иной раз нельзя ходить и ездить.

Из-за оплывания стенок и откосов приходится выбирать гораздо больше грунта, чем это нужно в действительности. Во избежание этого, разрабатывая летом сильно влажные грунты сле-

[1] Вопросы разработки мерзлых грунтов рассмотрены в статье инж. Ф. Н. Ронь в журнале Строительная промышленность, № 6, 1936.

дует уменьшать интенсивность протаивания откосов выемок, прикрывая их одеждой из мха или торфа, и обязательно устраивать водоотводные канавы, собирая воду в одном месте, откуда ее можно было бы удалить тем или иным способом.

Вид грязной выемки Амурской дороги во время летней разработки ее ломами, кирками и лопатами приведен на фиг. 152. От-



Фиг. 152. Общий вид разработки грязной выемки на Амурской дороге.

косы выемки сильно оплыли, несмотря на крепления из столбов и толстых досок. Путь для вагонеток на бревнах и лежнях просел и деформирован.

б) Разработка мерзлых грунтов при помощи взрывчатых веществ. Взрывные работы в мерзлых грунтах несколько менее эффективны, чем в обычных талых породах, так как мерзлые грунты очень пластичны. Однако это наилучший способ в смысле быстроты получения больших объемов разрых-

ленного грунта, что необходимо при применении механизации работ.

Взрывные работы не нарушают естественного режима вечной мерзлоты и с этой точки зрения уместны в тех случаях, когда, выбрав часть мерзлоты, желательно остальную часть сохранить в мерзлом состоянии. По некоторым имеющимся сведениям аммонал дает лучший эффект, чем динамит, сильнее разрыхляя грунт. Обыкновенный порох мало пригоден для мерзлых грунтов, так как при небольших зарядах результат его действия незначителен, а при больших зарядах — дробит породу на очень крупные куски и сильно разбрасывает их. Желательно производить возможно большее число одновременных взрывов, так как это обеспечивает большее измельчение породы.

Шпуры для зарядов пробуриваются обычным способом. Ручное бурение в мерзлоте составляет известную трудность из-за большой прочности мерзлой породы, поэтому правильнее применять пневматический инструмент. Это значительно ускоряет работу. Ввиду большой твердости мерзлоты, целесообразно иметь буры из материала высокого качества, например из шведской стали, а также «Победита» и других особо твердых сплавов. Шпуры в общем располагаются так же, как и при скальных работах.

Воздухопроводы от компрессора к перфораторам целесообразно отеплять, если работа идет зимой. Для того чтобы при остановках в работе в воздухопроводах не замерзала конденсационная вода, ее надо удалять, периодически производя продувку воздухопроводов.

Удаление взорванной породы лучше всего производить механической лопатой или дрегляйном, транспортирование грунта можно вести любым способом, если работа ведется зимой.

Летом, как и в предыдущем случае, в переувлажненных грунтах, особенно иловатых и пылеватых, встретятся большие затруднения вследствие протаивания вскрытой поверхности мерзлоты и оползания откосов. Уменьшить протаивание откосов возможно применением защитной теплоизоляционной одежды, временно укладываемой на откосы. Эта теплоизоляция может быть сделана из мха, торфа, соломы и мелкой поросли толщиной в 20—30 *см*. Вода, скопляющаяся в выемке или в котловане, должна быть тотчас же удалена отводом или даже откачкой.

в) Разработка мерзлых грунтов оттаиванием их естественным теплом. Оттаивание мерзлоты естественным теплом возможно лишь в течение нескольких летних месяцев, приблизительно с мая — июня по сентябрь — октябрь, в зависимости от района, и то только в том случае, если не требуется очень глубокое протаивание и имеется большой фронт работ.

Всю площадь разработки делят на два-три участка и на каждом последовательно снимают верхний талый слой почвы и обнажают поверхность мерзлоты. Действуя на открытую поверхность мерзлоты, атмосферное тепло и лучи солнца протаивают ее. После того как оттает слой почвы на первом участке на глубину

20—30 *см*, его выбирают и предоставляют теплу протаять новый слой. Работы ведут последовательно на каждом участке площадки с таким расчетом, чтобы в то время, пока идет выборка грунта на одном участке, другой протаял на глубину 20—30 *см*.

Главный недостаток этого способа — его медленность. Оттаивание происходит с трудом, особенно если грунт переувлажнен. Интенсивность оттаивания сильно зависит от температуры воздуха, состава грунта, от его влажности, от экспозиции участка и т. д.

Приближенно за неделю оттаивает в обычных переувлажненных пылеватых грунтах вечной мерзлоты не более 15 *см*. В песчанистых грунтах оттаивание происходит гораздо скорее.

Протаявший грунт часто превращается в жижу, отчего работы приходится вести в грязи. Для перемещения повозок надо устраивать особые деревянные мостки. Грунт нередко нельзя выбирать лопатами, приходится применять черпаки. Стенки котлованов и откосы выемок, протаивая, оползают, а так как крепи ставить трудно, выбирают много лишнего грунта, даже если принять особые меры для замедления оттаивания откосов. Однако этот способ очень уместен при песчанистых или гравелистых грунтах, особенно если они не чрезмерно влажны, т. е. влажность их меньше 30—40%, а также в том случае, когда сроки постройки достаточно велики, а фронт работ значителен.

Можно считать рациональным применение этого способа в сочетании с гидравлическим размывом. Но последний приемлем не всегда, а лишь в тех случаях, когда для этого имеются соответствующие условия, главным образом возможность легко и быстро отводить самотеком воду с размытым грунтом в место, где скопление этой воды не приведет к вредным последствиям в связи с местными мерзлотными условиями.

В благоприятных условиях гидравлический размыв с оттаиванием сулит большую экономию во времени и труде. Так как эта работа должна прозводиться летом, то оборудование таких работ ничем не отличается от обычного.

г) Разработка мерзлых грунтов посредством пожогов. Под пожогом подразумевается оттаивание мерзлоты теплом костров, разжигаемых на поверхности мерзлого слоя.

Работа производится следующим образом. Верхний слой талого грунта над мерзлотой выбирается. Непосредственно на обнаженной поверхности мерзлоты раскладывают костры, тепло которых и растапливает мерзлоту. Обычно костры разжигают вечером и поддерживают огонь всю ночь. Утром грунт оттаивает на глубину 20—50 *см*. Днем оттаявший слой выбирают, чтобы на ночь снова устроить костер.

Примитивный пожог для разработки выемки в мае месяце на Амурской дороге изображен на фиг. 153. Костер только что зажжен. На втором плане костер прогорел и идет выборка и отвозка грунта.

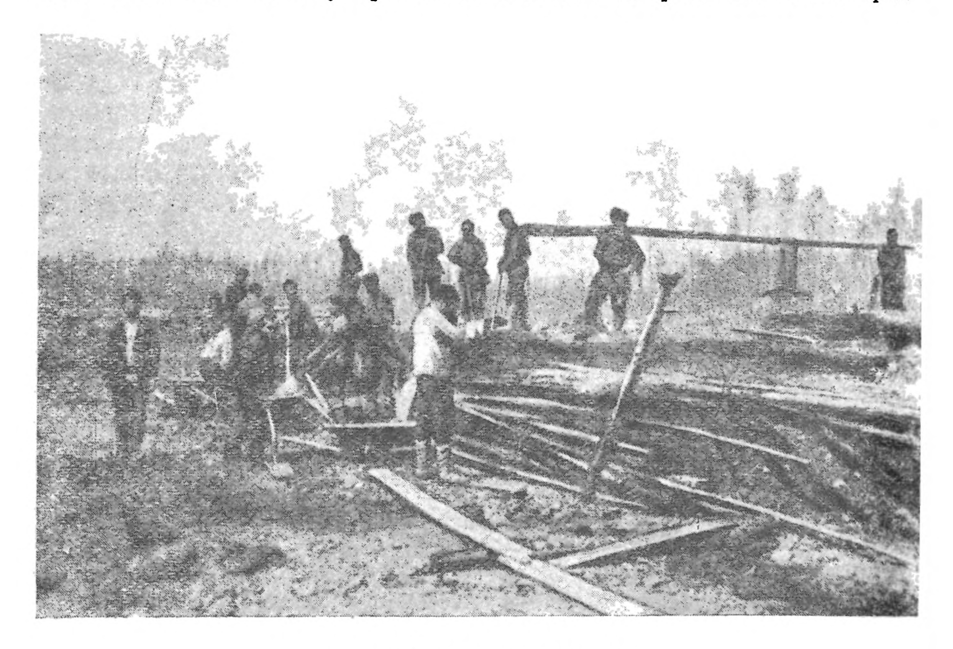
По данным проф. А. Н. Пассека[1] пожоги в котлованах де-

---

[1] А. Н. Пассек, Известия собрания инженеров путей сообщения, № 14, 1915

лаются двух типов. Пожог первого типа укладывается при всяких грунтах, кроме глины. Сначала укладывают два нижних бревна (фиг. 154), которые называют «выкладками». Промежуток между нижними бревнами закладывают подсухой (щепа, валежник и т. д.), а сверху, перпендикулярно выкладкам, кладут дрова. Количество дров берут по соображению, в зависимости от предполагаемой глубины протаивания, слоем от двух рядов поленьев до слоя толщиной в 1,0 *м*. Желательно употреблять лиственничные или березовые дрова.

Мерзлая глина при таком пожоге протаивает плохо, не глубже чем на 20 *см*. Поэтому применяется пожог второго типа. Он пред-



Фиг. 153. Работа с пожогом.

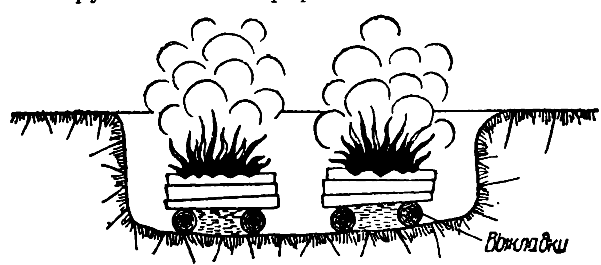
ставляет собой (фиг. 155) костер со слоем дров около 1,0 *м*. Когда костер сильно разгорится, его закрывают слоем навоза толщиной около 80 *см* и сверху еще слоем снега и оставляют на срок до полутора суток, по мере надобности добавляя снег в тех местах, где он протаивает.

В тех случаях, когда приходится иметь дело с очень водообильными грунтами, для того чтобы вода из грунта не затопила костер, в котловане костер разжигают сбоку, а часть котлована делают углубленной, чтобы вода могла стекать в одно место. Отсюда воду немедленно удаляют насосами или ведрами. Оставлять воду в котловане нельзя, если работа идет способом проморaживания.

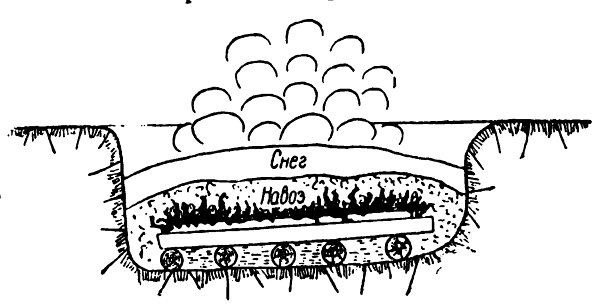
После того как пожог сгорел, прогретую массу грунта удаляют тем или иным способом, в зависимости от влажности грунта.

Если пожог устраивается в котловане, проходимом способом

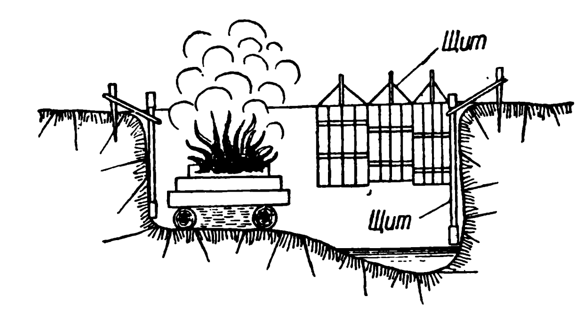
промораживания, выборку грунта надо производить тотчас же; оставлять оттаявший грунт на ночь нельзя, ибо он может прогреть весь замерзший грунт и наружная вода прорвется в котлован. По этой же причине теплый грунт не следует складывать вблизи от котлована. Его надо относить подальше.



Фиг. 154. Открытый костер пожога в котловане.



Фиг. 155. Закрытый костер пожога в котловане.



Фиг. 156. Защита деревянными щитами мерзлых стенок котлована при пожоге.

Стенки котлована при производстве пожогов необходимо закрывать деревянными щитами, подвешиваемыми на кольях (фиг. 156), забитых в грунт. Открытые стенки могли бы сильно протаивать и оплывать. Щиты делают из досок. Низ щита располагается на 80—90 *см* выше костра.

Достоинство способа оттаивания грунта пожогами заключается в том, что его можно применять зимой. Это позволяет вести пожог вместе с промораживанием. В зависимости от качества дров, при влажности грунта около 50—70%, можно принимать следующий расход дров:

1) для 1 $м^3$ глинистых грунтов .	0,7—0,9 $м^3$
2) для 1 $м^3$ песчанистых грунтов	0,4—0,6 $м^3$

Ориентировочный расход угля (по Евдокимову-Рокотовскому):

1) для 1 $м^3$ глинистых грунтов .	. 130—150 *кг*
2) для 1 $м^3$ песчанистых грунтов	80—100 *кг*

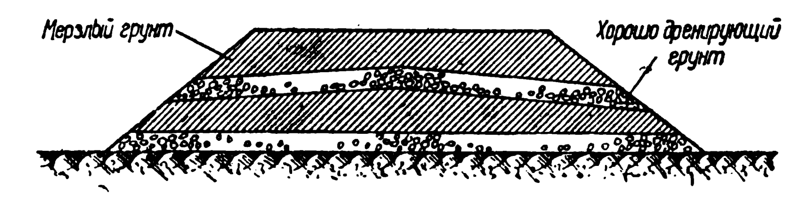
д) Р а з р а б о т к а м е р з л ы х г р у н т о в п р и п о м о щ и п р о т а и в а н и я и х п а р о в о й и г л о й. Устройство и работа паровой иглы были рассмотрены ранее. Протаивание мерзлоты паровой иглой наиболее целесообразный и поэтому наиболее реко-

мендуемый способ. Он обеспечивает простоту и легкость работы, а также быстроту протаивания. Стоимость протаивания невелика.

Некоторым неудобством способа является введение в грунт довольно большого количества воды, но это не всегда имеет значение, а кроме того вода может быть удалена (§ 12). Разработка грунта, протаянного паровой иглой, производится так же, как и обычного талого грунта. Рекомендуется максимальное использование механизмов.

2. Особые указания по устройству насыпей

Наилучшим временем для возведения насыпей из землистых грунтов в условиях районов вечной мерзлоты следует считать время, к которому оттает бо́льшая часть толщи слоя грунта, замерзшего на зиму, т. е. июль — август. В случае необходимости



Фиг. 157. Устройство насыпи из мерзлых грунтов.

сохранения вечной мерзлоты под основанием насыпи к возведению насыпи следует приступить возможно ранее.

Насыпи из хорошо дренирующего грунта и расположенные на мало влажных песчаных, гравелистых или хрящеватых грунтах могут быть отсыпаны в любое время и даже зимой из мерзлого грунта, если крупные глыбы будут раздроблены на куски размерами 25—30 *см*.

В случае особой необходимости насыпи из мерзлых, землистых, влажных и даже пылеватых грунтов можно отсыпать, при условии устройства особого основания, из хорошо дренирующего грунта и следующих специальных мероприятий.

Мерзлый землистый грунт должен быть раздроблен на мелкие куски около 5 *см* в поперечнике. Раздробленный мерзлый грунт можно укладывать слоями не толще 40 *см*, уплотняя каждый слой укаткой или другим способом. Через каждые 80 *см* по высоте насыпи, т. е. через каждые два слоя мерзлого грунта, необходимо укладывать слой толщиной в 40 *см* хорошо дренирующего грунта из крупного или среднего песка, гравия, хряща, дресвы или мелкого камня. Поверхности мерзлого грунта нужно придать небольшой уклон наружу (фиг. 157).

Подобный метод отсыпки насыпей из мерзлых грунтов был применен зимой инж. Ковалевым. Насыпь имела высоту 4 *м* и предназначалась под три пути. Мерзлый грунт представлял собой переувлажненную глину с галькой. Запас на осадку при отсыпке насыпи был дан в 35%. Отсыпка мерзлого грунта производилась слоями около 40 *см* из материала, представляю-

щего собой рваные глыбы. Пустоты между глыбами заполнялись мелочью. По слою мерзлого грунта укладывался слой балласта толщиной в 20—30 *см*. Затем снова отсыпался мерзлый грунт т. д. Возка грунта производилась лошадьми на грабарках.

Инж. Ковалев придерживается мнения, что дробление мерзлого грунта необходимо в том случае, если нет возможности дать насыпи выстояться и оттаять. На основании своего опыта он считает, что при достаточно больших сроках в размельчении грунта нет особенной необходимости.

Летом насыпь осела до 42%, причем осадка была неравномерная. За это же время насыпь просохла и состояние ее было хорошее.

Насыпь из мерзлого грунта летом была построена тем же инж. Ковалевым. Эта насыпь имела высоту 8,60 *м* и отсыпалась из глины с галькой. Длина насыпи 1,2 *км*, длина захватки 120 *м*. Грунт разгружался тонким слоем от 10 до 30 *см* и быстро оттаивал на солнце. Так как профиль отсыпаемой насыпи имел крутые склоны, грунт оплывал, но быстро просыхал и образовывал плотное тело.

Подготовляя основание при отсыпке низких насыпей (высотой до 3 *м*), необходимо предварительно удалять из пределов основания насыпи верхний травяной или моховой покров почвы. Торф, лежащий под слоем мха, можно выбрать лишь на глубину 1 *м*.

При высоких насыпях (высотой более 3 *м*) нет надобности снимать верхний травяной или моховой покров (кочки) и удалять торф из-под основания насыпи.

Уплотнение оттаявшего слоя торфа можно принимать равным 50—70% его толщины.

Весьма целесообразно вообще, а при пылеватых суглинках необходимо механическое уплотнение насыпей паровыми или дизельными катками. При этом насыпи должны отсыпаться правильными горизонтальными слоями толщиной около 30 *см*, и весь участок работы должен быть разделен на три части. На одной части участка производятся вывозка грунта и его разравнивание, другая часть в это время просыхает, а на третьей происходит укатка уже несколько просохшего грунта.

3. Особые указания по устройству выемок

Разработка вечномерзлых галечных, гравелистых и песчаных грунтов в летнее время, при надлежащем отводе воды, особых затруднений не представляет. В мерзлом же виде эти грунты поддаются разработке с большим трудом. Поэтому работы в них целесообразно вести летом, протаивая грунт атмосферным теплом или, если сроки постройки невелики, применяя взрывные работы.

Во время разработки выемки следует обращать особое внимание на непрерывный отвод воды путем устройства осушительных канав с большим уклоном, во всяком случае не меньшим чем 0,003. Размер и расположение канав необходимо назначать в зависимости от местных условий. Работу по разработке выемки лучше всего вести последовательно на нескольких участках и на всю

ширину выемки с откосами. Во избежание поступления лишней воды из откосов и для замедления оттаивания отрытые до проектного положения откосы следует прикрывать временной одеждой из слоя торфа толщиной 0,25—0,30 *м* или слоя мха толщиной от 0,20 до 0,30 *м*.

Зимой разработку хорошо дренирующих грунтов следует производить при помощи взрывчатых веществ. Погрузку взорванной породы рекомендуется производить механической лопатой на гусеничном ходу, а транспортировать ее следует при помощи грузовых автомобилей-самосвалов или тракторов с прицепами.

Вечномерзлые глинистые и суглинистые грунты, не слишком водообильные, обращающиеся при протаивании в пластичную массу тестообразной консистенции, возможно разрабатывать как летом, так и зимой.

При разработке летом грунтов, образующих при протаивании пластичную массу, следует избегать непосредственного воздействия внешней нагрузки на поверхность грунта (перемещение рабочих, лошадей, механизмов и т. д.), ибо грунт становится весьма вязким и липким. Разработку такого грунта следует вести при помощи дрегляйна или в крайнем случае вручную, применяя вагонеточную возку.

Шпалы для вагонеточных путей надо укладывать не непосредственно на грунт, а на продольные 3—4 лежня для того, чтобы распределить нагрузку на большую длину. При зимних работах может быть использована механическая лопата. Разрыхление грунта достигается клиньями или лучше взрывами; возможно применение пожогов.

При работе пожогами необходимо предварительно разработать узкую траншею с вертикальными стенками. Ширина траншеи вначале должна быть 1,0 *м*, глубина 0,8 *м*. Далее, для облегчения работы костры следует раскладывать на дне траншеи у стенки, а выемку уширять постепенно, по мере углубления. Обильно влажные глинистые, илистые и пылеватые грунты, при таянии образующие сильно разжиженную массу, рекомендуется разрабатывать только зимой, если вообще невозможно избежать выемки в таком грунте, в результате изменения трассы.

Зимой же должны быть устроены дренажи в откосах и глубокие дренажные канавы (кюветы) в соответствии с указанными на фиг. 114.

Разработка такого грунта может производиться ломами клиньями и взрывами. Лучшим способом является разработка взрывами аммонала. Протаивание переувлажненных грунтов при помощи пожогов не рекомендуется, ибо обильная влажность грунта препятствует успешному осуществлению пожогов, а растаявший грунт превращаясь в жижу, требует выборки черпаками и затрудняет перемещение по его поверхности.

Помимо рассмотренных способов, разработку выемок в мерзлых грунтах целесообразно производить гидравлическим способом при наличии условий, необходимых для применения этого способа.

Во всех случаях при летней разработке выемок в мерзлых землистых грунтах откосы, для замедления оттаивания, следует при-

крывать временной одеждой из мха или торфа слоем в 20—30 см.

Окончательное укрепление откосов, независимо от времени разработки выемки, надлежит выполнять не раньше ближайшей осени, так как только к этому времени откос просохнет и приобретет некоторую устойчивость.[1]

Глава VI

СООБРАЖЕНИЯ ОБ ЭКСПЛОАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

§ 19. ОСОБЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Из предыдущего нельзя не заметить, что безопасное существование многих сооружений в области вечной мерзлоты более или менее обеспечивается рядом специальных мероприятий, ведущих к сохранению и к созданию определенных обстоятельств и условий, при которых проявление вредных для сооружения особенностей этой своеобразной области наименее опасно.

Однако устанавливаемое таким образом равновесие сравнительно неустойчиво и нередко может быть нарушено, отчего большинство упомянутых мероприятий может потерять свой смысл, обстоятельства изменятся, и в результате сооружение окажется в опасном положении.

Очевидно, часто нельзя будет ограничиться только правильным выбором места для сооружения, назначением целесообразной конструкции и рациональным способом производства работ, ибо несмотря на это, в дальнейшем, в течение последующего долголетнего существования сооружения, обстоятельства и условия, послужившие основой для проектирования и для возведения сооружения, изменятся. Это изменение может в известных случаях привести к нарушению безопасного существования построенного.

Ввиду этого сооружение, построенное и сданное в эксплоатацию, должно находиться под непрестанным внимательным наблюдением, и его эксплоатация должна производиться в строгом соответствии с местными особенностями, принятыми в расчет при проектировании и постройке сооружения.

Таким образом, заботы о безопасности сооружений должны распространяться не только на изыскания, проектирование и постройку, но обязательно и на все время существования данного сооружения, т. е. должны встретить не менее внимательное отношение со стороны лиц, занятых эксплоатацией выстроенного, а не только строителей.

[1] Дополнительные сведения о разработке выемок и об отсыпке насыпей в условиях вечной мерзлоты можно найти в книге проф. Д. Д. Бизюкина, проф. А. В. Ливеровского и проф. В. К. Гониг, Изыскания, проектирование и постройка железных дорог, том III, 1938, стр. 196.

Можно было бы привести немало примеров, когда сооружения, в общем спроектированные и выстроенные более или менее правильно, стали все же деформироваться, так как эксплоатация их велась неверно, без учета местных особенностей и не сообразуясь с обстоятельствами и условиями, принятыми для постройки.

Ввиду этого необходимо после ввода сооружения в эксплоатацию наблюдать за его состоянием, параллельно принимая все меры, обеспечивающие и развивающие условия и обстоятельства, положенные в основу строительства в точном соответствии с проектом.

Для облегчения этого следует при акте сдачи сооружения в эксплоатацию передать эксплоатирующей организации исчерпывающие данные, послужившие для проекта и постройки и характеризующие данную местность, строительную площадку, а также самое сооружение, перечислив все специальные мероприятия, принятые, чтобы обезопасить сооружение в этих особых условиях.

Организация, эксплоатирующая сооружение, на основе этих материалов должна установить соответствующий эксплоатационный режим.

Сказанное в равной мере касается всяких сооружений — зданий, мостов, насыпей, плотин, выемок и пр.

ОСТ 90032—39 дает в этом отношении следующие указания, учитывая большую важность правильной эксплоатации сооружений в условиях вечной мерзлоты.

VII. Наблюдение за сооружением

§ 39. При строительстве на вечной мерзлоте необходимо проводить инструментальные наблюдения за поведением сооружений как в период возведения их, так и в первые годы эксплоатации. Наблюдения производятся согласно специальной программе, прилагаемой к проекту сооружения и уточняемой в процессе строительства.

Наблюдения обязательны за сооружениями 2-го и наиболее ответственными и типичными — 3-го классов.

Примечание. Во вновь осваиваемых участках вечной мерзлоты рекомендуется проводить наблюдения и за временными сооружениями.

§ 40. При сдаче сооружений в эксплоатацию управление строительством обязано сдать, а предприятие, принимающее сооружение, обязано затребовать материалы наблюдений и исследований, проведенных на строительной площадке.

В акте сдачи сооружения в эксплоатацию должна быть сделана отметка о передаче материалов наблюдений и исследований. К материалам наблюдений должны прилагаться все данные по обследованию строительной площадки в отношении ее геологии, гидрогеологии, мерзлотного режима, физико-механических свойств грунтов, химических свойств подземных вод, опытных нагрузок и т. п.

§ 20. УКАЗАНИЯ И СООБРАЖЕНИЯ О ПРАВИЛЬНОЙ ЭКСПЛОАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

Эксплоатация всякого сооружения, выстроенного в условиях вечной мерзлоты, должна вестись в строгом соответствии с принятым методом строительства (§ 12) и при непременном поддержании и развитии всех мероприятий, которые были приняты в проекте для улучшения условий существования сооружения.

Таким образом для сооружения, выстроенного по методу I (ОСТ 90032—39), т. е. с сохранением вечномерзлого состояния грунтов основания, во время эксплоатации здания необходимо ежегодно следить за верхним горизонтом слоя вечной мерзлоты, проверяя его два-три раза в год — весной, летом и в начале первых заморозков. Результаты этих наблюдений должны сохраняться, чтобы по ним можно было судить о поведении мерзлоты.

В отапливаемых зданиях, имеющих проветриваемое подполье, последнее надлежит открывать на зиму и закрывать на лето. Во всяком случае им надо пользоваться для регулирования состояния слоя вечной мерзлоты. В отдельных случаях открывание на зиму подполья, по крайней мере в самое холодное время, может и не требоваться, как это и случилось с упоминавшимся ранее домом на ст. Сковородино.

Главным врагом стабильного состояния мерзлого слоя является вода, обладающая высокой теплоемкостью. Поэтому следует внимательно следить за тем, чтобы в грунт у зданий не поступала атмосферная или производственная вода. С этой целью все устройства дренажного характера и различные водоотводы, а также всякие устройства по предохранению от попадания в грунт этих вод, должны содержаться в постоянном порядке и подвергаться своевременному ремонту.

В некоторых случаях, для поступления в грунт большего количества холода, уместно зимой убирать снег возле зданий, ибо снеговой покров сильно отепляет почву, преграждая холоду доступ в грунт.

Различные засыпки и подушки под зданием или возле зданий тоже требуют внимания, так же, как и растительность, предусмотренная проектом. Их надо поддерживать в том виде, который был задан при постройке.

При переделках здания, а также при изменении назначения тех или иных помещений, необходимо считаться с устройством здания и мероприятиями, принятыми при постройке, чтобы не нарушить условий безопасного существования сооружения.

Нельзя допускать непосредственного местного нагревания стен или фундаментов какими-либо устройствами, например печами, горнами или горячими трубами в местах, где это не было предусмотрено проектом.

Точно так же нельзя в готовом здании, построенном по принципу сохранения слоя мерзлоты, пользоваться для каких-либо целей проветриваемым подпольем или пытаться устраивать какие-либо подвалы, колодцы или ямы. Это приведет к протаиванию мерзлоты.

Вблизи зданий не следует допускать отвалов теплого шлака, гари или каких-нибудь отбросов или навоза в больших количествах.

Постройка в непосредственной близости новых сооружений иными методами, чем принятый для существующего, грозит целости последнего.

Здания, построенные по методу, допускающему нарушение мерзлого состояния грунтов, тоже требуют наблюдений за дефор-

мациями и нуждаются в правильном эксплоатационном режиме. Здесь попрежнему необходимо неуклонно поддерживать в исправном состоянии все запроектированные и выполненные при постройке специальные устройства, стремясь задержать быстроту оттаивания мерзлоты и тем уменьшить величину и неравномерность осадок. Если будут происходить осадки, необходимо принимать предусмотренные меры ликвидации последствий их, своевременно используя приспособления для регулирования высоты расположения элементов сооружения, например подкладки, клинья и т. д.

Устройства против пучения, как и прочие мероприятия, требуют известного ухода. Этот уход в первую очередь заключается в содержании в полном порядке всех устройств и в своевременном их ремонте. Вода и интенсивность ее притока имеют большое значение для размеров пучения. Поэтому необходимо заботиться о том, чтобы всякого рода противопучинные засыпки не были сильно пропитаны водой. Нужно следить за тем, чтобы в почву возле сооружений не попадала та вода, которая может быть отведена от сооружения, и преграждать поступление грунтовой воды в грунт, сопредельный со зданием, в тех случаях, когда это возможно. В некоторых случаях, вероятно, окажется целесообразным ремонт непучащихся засыпок, путем замены части их, через тот или иной срок действия или посредством периодической поливки их нефтяными остатками или даже нефтью.

Различные искусственные сооружения, например фильтрующие насыпи, трубы, эстакады, мосты с деревянными и каменными опорами, также нуждаются в известном уходе во время эксплоатации.

Для фильтрующих насыпей очень важно следить за тем, чтобы вода, оказавшаяся осенью перед заморозками перед насыпью, из-за случайно возникшего подпора не осталась до холодов и не замерзла. Фильтрующая насыпь в таком случае весной работать не будет. Далее необходимо заботиться о хорошем состоянии устройств, предназначенных для предохранения их от заиливания.

Для всех искусственных сооружений и для насыпей, построенных в предположении сохранения в основании этих сооружений вечной мерзлоты, большое значение для сохранения мерзлоты имеет недопущение образования около них длительных подпоров воды. Вода — носитель большого количества тепла — скопившись возле сооружений, может легко и глубоко протаять слой вечной мерзлоты, что вызовет деформации сооружений.

Ввиду этого пропуск воды должен быть всегда обеспечен. Случайные причины появления подпора необходимо устранять насколько возможно быстрее. Весьма важно из этих же соображений следить за отличным состоянием водоотводных сооружений. Различные канавы, кюветы и т. д. надобно время от времени прочищать, сохраняя заданный уклон, и не допускать в них застоя воды.

В отдельных случаях постройка сооружений способна вызвать заболачивание отдельных участков местности. Этого надо избегать, принимая соответствующие меры, если высокая влажность грунта создает возможность образования подтока воды в пуча-

ийся грунт у сооружения. В других случаях заболачивание мо- ет позволить мерзлоте подняться ближе к дневной поверхности.

При постройке насыпей на мерзлом основании нужно избегать топления резервов и застоя в них воды. Вода в резервах спо- бна глубоко протаять мерзлоту.

Как упоминалось в § 16, мерзлотные пояса, применяемые для рьбы с наледями, а также для уменьшения влажности деятель- го слоя, требуют особого ухода.

Так называемые сезонные мерзлотные пояса, состоящие из ищенной от снега полосы и снегового вала с низовой стороны, ебуют обязательной регулярной очистки от снега после каждого егопада. Постоянные мерзлотные пояса в виде канав, по данным ж. А. М. Чекотилло, без ухода перестают действовать через -4 года. Уход за ними, по указанию А. М. Чекотилло, заклю- ется в защите грунта под дном канавы пояса от глубокого про- ивания летом путем покрывания дна слоем мха или торфа; на му этот слой следует снимать для обеспечения наиболее бы- рой и интенсивной проморозки грунта под дном канавы. Кроме го постоянные пояса надо очищать от снега после каждого сне- пада, чтобы усилить этим промерзание грунта. В феврале истку снега нужно прекращать, так как в дальнейшем она уже требуется. Опыт эксплоатации грунтовых мерзлотных поясов казал, что во всех случаях, когда за ними был организован жный уход, мерзлотные пояса действовали безупречно.

Мох или торф, снятые на зиму, сохраняют для использования следующее лето. Крылья поясов рекомендуется очищать, как пояса, после каждого снегопада.

Устройства по отеплению русел (§ 16) для пропуска наледной ды под сооружением требуют своевременной установки в начале мы и своевременной уборки весной. Материал, служащий для эго, должен быть сохраняем для повторного использования.

Глава VII

К ВОПРОСУ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЕ

§ 21. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Изучающий вопросы строительства в условиях вечной мерз- ты встречает в немногочисленных работах в этой области немало ясностей, недоговоренностей и нередко признания в недостаточ- й выясненности многих вопросов. Не менее часты противоречия мнениях лиц, так или иначе интересовавшихся вечной мерзло- й с точки зрения практических вопросов строительства.

Действительно, многое в этой интересной и сложной области азывается еще недостаточно исследованным и проверенным, тя большая часть таких вопросов могла бы быть выяснена уже вно посредством однообразных наблюдений и опытов, поста-

вленных одновременно в нескольких районах, занятых вечной мерзлотой.

Причина того, что многие практические вопросы строительства не имеют должного обоснования достаточно длительными наблюдениями и надлежащим числом опытов, заключается видимо в том, что до сих пор еще точно не сформулировано что нужно сделать, не объединены разрозненные попытки, предпринимавшиеся в этой области и им не придана соответствующая направленность.

У нас существуют самые разнообразные научно-исследовательские институты, преследующие в своей научной работе в конечном итоге чисто практические цели — помощь реальному делу — и сильно содействующие развитию, улучшению и упрощению данного производства. Эти организации после многих опытов и исследований создают новые устройства, аппараты, процессы и методы, практически осуществимые и доведенные разработкой до производства, причем все это надежно обосновано и проверено.

Все эти достижения техники и промышленности являются результатом более или менее длительной разработки той или иной проблемы и не представляют собой вывод из единичных или вообще случайных наблюдений и опытов или исследований. Напротив, они всегда имеют в своем активе ряд наблюдений и опытов, всесторонне и взаимно друг друга дополняющих, подтверждающих или опровергающих.

Этого пока нет в отношении строительства в условиях вечной мерзлоты. Несмотря на давность возникновения некоторых вопросов, они не подвергались ни систематической проверке, ни систематическим исследованиям.

Многие существенные и иногда казалось бы легко разрешимые вопросы строительства в условиях вечной мерзлоты все еще спорны или имеют решение далеко не безупречное, так как для них нет ни теоретического обоснования, ни достаточного числа неопровержимых практических опытов и наблюдений.

Ряд вопросов, к сожалению, решается на основе единичных опытов или случайных фактов. Так, например, даже такой вопрос, который многим теперь кажется решенным вполне удовлетворительно, как вопрос об отапливаемых зданиях с проветриваемым подпольем, обследован слабо и имеет своим обоснованием, пожалуй, лишь одно наблюдение над деревянным домом на ст Сковородино.

Другой важный вопрос о борьбе с наледями при помощи мерзлотных поясов обоснован тщательными наблюдениями и опытами В. Г. Петрова в течение только одной зимы и может быть некоторыми косвенными данными.

Величина выпучивающего усилия для столбов и фундаментов остается до сих пор открытым вопросом, ибо решение его, найденное инж. Н. И. Быковым в виде усилия, равного 120 *кг/пог. см* периметра столба, может быть приемлемо лишь для определенного участка на ст. Сковородино, так как оно установлено на основании только нескольких опытов, при одних и тех же местных грунтах определенного качества и при данной влажности, в течение одной зимы.

Можно было бы назвать еще много других вопросов, которые в области строительства в условиях вечной мерзлоты решаются или на основе случайных данных, или же на основе предположений. Неправильность этого не нуждается в доказательствах. Но пока сплошь и рядом нет иного выхода. Практика предыдущих лет и работа существовавших до сих пор и существующих сейчас различных опытно-исследовательских организаций показала, что все эти организации не вполне разрешили некоторые задачи строительного дела в условиях вечной мерзлоты.

Достигнутые в отдельных случаях результаты не пропорциональны задачам, не всегда соответствуют тем усилиям, которые были сделаны, и не совсем удовлетворяют реальной потребности. Причина этого вероятно заключается в том, что средства, отпускаемые на опытно-исследовательскую работу, распылялись между ведомствами, преследовавшими свои узкие цели; работа велась недостаточно планово, а результаты нередко оставались неизвестными.

Несмотря на громадное движение вперед науки о мерзлотоведении в целом в результате работ Академии наук, по сравнению с ее состоянием в дореволюционное время, многие практические вопросы не разрешены.

Многие организации и ведомства создавали в районах вечной мерзлоты свои мерзлотные станции, пытаясь при их помощи найти решение интересовавших их вопросов. Эти станции были маломощны, слабо обеспечены средствами, людьми и материалами, не имели надлежащего руководства. Большинство из них быстро прекращало свое существование, а другие работали с большими перерывами, с частой сменой работников, отчего многие начинания так и остались незавершенными.

Нередко для изучения вопросов строительства вечной мерзлоты посылались экспедиции. Но, конечно, экспедиции, ограниченные во времени, не могли сделать необходимого, так как для этого требуется стационарное исследование и ряд повторных экспериментов. Результаты работы экспедиций для практических целей строительства невелики, за редким исключением.

Практика организации мерзлотных станций правильна, но эти станции должны быть предметом неусыпного внимания и забот. Их работа должна производиться по общему плану и под общим целеустремленным руководством.

Очевидно, для внесения ясности во все эти вопросы необходима систематическая и планомерная работа целой организации, которая занялась бы специально строительными вопросами. Колоссальная территория, занятая вечной мерзлотой, составляющая почти 47% территории СССР, и размах строительных работ в этих районах требуют особой опытно-исследовательской организации, которая занялась бы только строительством в условиях вечной мерзлоты.

Создание особой научно-исследовательской организации, в виде, например, научно-исследовательского института по строительству в условиях вечной мерзлоты, позволило бы собрать разрозненные кадры специалистов, объединить их и поставить плано-

мерное и целеустремленное практическое исследование вопросов строительства в районах вечной мерзлоты. Эта организация смогла бы собрать и провести анализ имеющегося опыта. Она могла бы разрешить в короткий срок ряд насущнейших проблем строительства, выдвинутых жизнью, но не решенных из-за отсутствия специальной организации.

§ 22. ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРЕБУЮЩИЕ РАЗРЕШЕНИЯ

Весьма существенным вопросом, не имеющим удовлетворительного решения, является вопрос о величине выпучивающего усилия для столбов, свай и фундаментов.

Предварительное приближенное, но практически приемлемое для расчетов решение, могло бы быть найдено очень быстро — в течение двух-трех зим — если бы был поставлен ряд опытов, однообразных в смысле методики и применения приборов, по выяснению величины выпучивающего усилия для разных грунтовых условий и в разных районах распространения вечной мерзлоты.

Параллельное ведение более углубленных опытов по исследованию условий промерзания деятельного слоя и выпучивания опор, без сомнения позволило бы уточнить вопрос о прочности смерзания грунта с опорами и о мощности пучащего слоя. Только отсутствие правильных, достаточно обширных и планомерных опытов не позволило решить этот вопрос.

Для опытов в этом направлении надлежит воспользоваться указаниями § 10, п. Б, применив для начала приборы, предложенные Сковородинской мерзлотной станцией.[1]

Опыты надо провести особо для деревянных и для бетонных опор, при разных грунтах деятельного слоя и при разных условиях залегания мерзлоты.

Не меньшее значение имеет проблема предохранения сооружений от пучения. Работа не пучащихся засыпок вокруг опор из гальки, шлака и т. д. не выяснена, так же, как и возможность применения пропитки этих материалов нефтяными остатками или нефтью.

Многие утверждают, что засыпки эти не приносят пользы и не уменьшают пучения опор, так как быстро заиливаются, а нефть из засыпки скоро вымывается грунтовой водой. Правда, никто из противников применения засыпок не указал точно, какое конкретное сооружение, когда и при каких обстоятельствах подверглось выпучиванию несмотря на засыпки. Однако такой взгляд существует, и некоторые организации отказались от засыпок.

Известное подтверждение возможности интенсивного пучения засыпок можно найти в лабораторных опытах Н. А. Цытовича (табл. 4). С другой стороны, известно немало построек, где такие устройства действуют превосходно. Строители старых дорог — Амурской, Забайкальской и др. — считали, что это весьма целесообразная мера, препятствующая выпучиванию. Есть немало совре-

[1] Н. И. Быков, Из практики работы мерзлотной станции, Строительная промышленность, № 11, 1937.

менных материалов, указывающих, что засыпки часто помогают предохранить сооружение от выпучивания. Так, например, все здания в районе р. Амдермы при сильно пучинистом деятельном слое мощностью около 1,50 *м*, основанные на деревянных столбах, обсыпанных галькой, существуют благополучно, в то время как там же здания, столбы которых не обсыпаны галькой, сильно выпучиваются.

Совершенно очевидно, что вопрос этот легко разрешить, организовав обследование существующих сооружений в нескольких местах и поставив ряд опытов в разных условиях и при различных засыпках. Наблюдения в течение ряда лет исчерпывающе разрешат все сомнения. Та же Сковородинская станция, существующая уже много лет, могла бы давно исчерпывающе решить этот вопрос.

Для противодействия пучению опор зданий и мостов неоднократно предлагались устройства, заанкеренные в мерзлоте или в грунте, ниже деятельного слоя. Однако на практике в точности не было установлено, в каких случаях и каким образом должна быть сделана анкеровка. Для этого нужно поставить достаточно большое число экспериментов, которые дадут обоснованное решение, хотя бы для наиболее характерных случаев.

Интересно выяснить также работу наклонно заглубленных свай и столбов, которые, как это видно из некоторых наблюдений, обычно не выпучиваются.

Выше было рекомендовано применение для отапливаемых зданий, возводимых по методу сохранения мерзлоты в основании, особого устройства — проветриваемого подполья.

Это мероприятие рекомендовано с одной стороны на основе теоретических соображений, более или менее обоснованных Н. А. Цытовичем и М. И. Сумгиным, а с другой, подтверждено некоторыми фактами, к сожалению, весьма ограниченными. Стройная теория температурного режима в таком здании, однако, сильно нарушается наблюдениями Н. И. Быкова.

Чтобы окончательно практически и теоретически решить этот вопрос, по крайней мере, для наиболее часто встречающихся случаев, необходима постановка ряда специальных наблюдений за зданиями с проветриваемым подпольем.

Рекомендуемый ОСТ 90032—39 способ строительства зданий с приспособлением сооружения к осадкам при протаивании мерзлоты имеет много неопределенного и практически едва ли может быть использован, так как невозможно правильно оценить осадки грунта.

В самое последнее время Н. А. Цытович в своей докторской диссертации сделал успешную попытку теоретически решить вопрос об осадках при протаивании мерзлых грунтов для разных случаев однородных и слоистых грунтов. Предложенный им способ подтверждается лабораторными опытами. Однако необходима проверка этого метода в реальных условиях и увязка его с данными практики. Надлежащая постановка экспериментов на мерзлотных станциях позволит окончательно решить этот вопрос, один из важнейших в деле безопасного строительства.

Применение паровой иглы, ее устройство, режим работы не

вполне выяснены, хотя это приспособление для работы в мерзлых грунтах представляется чрезвычайно целесообразным. Для внедрения паровой иглы в практику строительства необходима дальнейшая практическая разработка вопросов, связанных с ее применением.

Большое значение имеет вопрос о сроке восстановления мерзлоты, пропаренной посредством паровой иглы для опускания свай. Тут тоже нужны солидные опыты и наблюдения. Пока имеются лишь разрозненные данные и это часто затрудняет строителей.

Ранее упоминалось о целесообразности применения в некоторых случаях холодильной техники в целях сохранения слоя вечной мерзлоты. Использование для этого запасов естественного холода сулит многое. Однако без разработки этого метода в полевых условиях и без надлежащего экспериментирования в этой области обойтись нельзя. Своевременно заняться и этим интереснейшим вопросом.

Сказанное далеко не исчерпывает всех тех вопросов, которые волнуют строителей. Здесь выбраны только те из них, которые было бы желательно решить возможно скорее и которые могут быть решены быстро. Деятельность специальной научно-исследовательской организации по строительству в условиях вечной мерзлоты, конечно, не может ограничиться рассмотрением только отдельных вопросов строительства, она должна охватить всю проблему в целом. Эта деятельность должна быть предметом особого, более глубокого обсуждения.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Сумгин, Вечная мерзлота в пределах СССР, Академия наук, 1937.
2. Нормы и технические условия проектирования оснований и фундаментов в условиях вечной мерзлоты, ОСТ 90032—39, Госстройиздат, 1939.
3. Временные технические условия на изыскания, проектирование и сооружение железных дорог в условиях вечной мерзлоты, НИИПС НКПС, Проект А. В. Ливеровского и К. Д. Морозова, Трансжелдориздат, 1939.
4. Сборник инструкций и программных указаний по изучению мерзлых грунтов и вечной мерзлоты, Академия наук СССР, 1938.
5. Н. А. Цытович и М. И. Сумгин, Основания механики мерзлых грунтов, Академия наук СССР, 1937.
6. К. И. Лукашев, Область вечной мерзлоты как особая физико-географическая и строительная область, Ленинградский Университет, 1938.
7. Водоснабжение железных дорог в условиях вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1939.
8. К. Д. Морозов, Проектирование и сооружение мостов в условиях вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1936.
9. В. В. Еленевский и Г. А. Низовкин, Железнодорожное строительство в условиях вечной мерзлоты, Трансжелдориздат, 1936.
10. Н. И. Быков и П. Н. Каптерев, Вечная мерзлота и строительство на ней, Трансжелдориздат, 1940.
11. В. Г. Петров, Наледи на Амурско-Якутской магистрали, Академия наук СССР, 1930.
12. М. И. Евдокимов-Рокотовский, Постройка и эксплоатация инженерных сооружений в условиях вечной мерзлоты, 1931.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРОЕКТ ИНСТРУКЦИИ ПО ОБСЛЕДОВАНИЮ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Выборка из Временных технических условий на проектирование, изыскания и постройку железных дорог в условиях вечной мерзлоты. НИИПС НКПС, проект 1939 г.

§ 1. Общие указания

1. Целью исследования является изучение причин и обстоятельств деформаций и выработка в дальнейшем на основе этого мероприятий по предохранению сооружений от деформирующего влияния условий вечной мерзлоты.

2. Исследования деформаций инженерных сооружений должны включать: а) вопросы инженерные, в том числе описание строительных конструкций, устройств сооружений и деформаций их; б) вопросы мерзлотно-грунтовые; в) вопросы геолого-гидрологические.

3. Исследование деформаций сооружений надлежит исполнять комиссией из компетентных лиц в составе не менее трех специалистов, а именно: 1) инженера-строителя, знакомого с мерзлотой; 2) мерзлотоведа, знакомого с сооружениями; 3) геолога, специалиста по инженерной геологии, знакомого с мерзлотой и гидрологией.

Примечание. В зависимости от объема исследований и размера сооружений, исследование может быть произведено и меньшим числом лиц и даже одним лицом при условии его достаточной компетенции в вопросах специальности отсутствующих лиц.

4. Изучение деформации инженерных сооружений может быть следующих двух типов:

а) общее обследование состояния отдельных сооружений или группы их; б) исследование деформаций и их причин.

Последние подразделяются на: 1) общее исследование деформаций, 2) детальное исследование и 3) стационарное исследование.

Кроме того следует различать:

а) обследование зданий,

б) обследование мостов и труб и

в) обследование земляного полотна.

5. В зависимости от вида исследования надлежит руководствоваться нижеприводимыми параграфами настоящей инструкции.

§ 2. Общее обследование сооружений

1. Целью общего обследования является установление общего характера, причин и обстоятельств деформаций сооружений в данном районе.

2. Общее обследование выполняется следующим образом и в следующем объеме.

а) Составляется общее описание района. В этом описании надлежит возможно более подробно указать климатологические и метеорологические данные (осадки, снежный покров, температурный режим и т. д.), собрав соответствующие данные в местных учреждениях, воспользовавшись различными климатологическими справочниками и опросив местных жителей. Описание должно включать общую характеристику района в геологическом, гидрологическом и мерзлотном отношениях, а также сведения о рельефе местности, растительности и покрове почвы. Общее описание района производится на основе личного

осмотра и ознакомления с материалами, имеющимися на месте, а также посредством мероприятий, указанных далее в пункте г).

б) Составляется общее описание устройства сооружений, подвергшихся деформации, на основании личного осмотра их.

в) Составляется описание характера деформаций с указанием, какие по преимуществу деформации имеют место в данном районе: 1) осадки сооружений, 2) выпучивание и т. д.

Описание производится на основании личного осмотра этих сооружений. Желательно сопроводить описание фотографиями всех деформировавшихся сооружений и краткими указаниями об устройстве каждого и о его деформациях. При описании деформаций следует указать ориентацию сооружения по странам света.

г) В случае возможности следует произвести бурение или отрывку шурфов возле сооружений, имеющих наиболее характерные деформации, общим числом у 3—5 сооружений, по одной скважине или по одному шурфу у сооружения, в месте наибольших деформаций.

3. Документы, полученные в результате общего обследования, должны быть следующие:

1) Общее описание местности: а) климатическое, б) метеорологическое, в) геологическое, г) гидрогеологическое, д) мерзлотное, е) флора.

2) Общее описание сооружений и характера деформаций их.

3) Фотографии местности и деформировавшихся сооружений.

4) Описание предпринимавшихся мероприятий по борьбе с влиянием мерзлоты на сооружения, связь их с деформациями и соображения исследователей о вероятных причинах деформаций.

5) Журналы или карточки бурения и шурфования, если последние были проделаны.

6) Соображения, заключения и предположения обследователей о характере и объеме дальнейших исследовательских работ.

§ 3. Общее обследование деформаций отдельного конкретного сооружения

1. Общее исследование деформаций выполняется следующим образом и в следующем объеме:

а) составляется общее описание местности, где расположено данное сооружение, в объеме и на основе указаний § 2;

б) составляется возможно более детальное описание устройства данного сооружения на основании личного осмотра;

в) составляются подробнейшее описание и характеристика деформаций по внешнему осмотру и производится фотографирование сооружения;

г) представляются соображения и заключения обследователей о деформациях и их причинах, а также и об объеме дальнейших исследовательских работ.

§ 4. Детальное и стационарное исследование деформаций отдельного сооружения

1. Как детальное, так и стационарное исследование деформаций сооружений производятся на основе нижеследующих указаний, с некоторым развитием и углублением стационарных исследований, оговоренных далее в соответствующих местах.

2. Программа и объем исследовательских работ устанавливаются на основании результатов предварительных обследований по § 2 и 3.

§ 5. Исследование деформаций зданий

1. Обследование в строительно-конструктивном отношении должно быть сделано следующим образом и в следующем объеме:

1) Составляются чертежи здания с возможной точностью в масштабе 1/50 н. в. путем съемки на месте при помощи обмера лентой: а) плана фундаментов здания, а также поэтажных планов; б) общих разрезов, продольного и поперечного, с указанием типа устройства фундаментов и глубины их заложения; в) разрезов в местах деформаций.

2) Чертежи снабжаются описанием конструкций, устройств здания и материалов, примененных для различных частей здания; на них показываются места деформаций.

Помимо тщательного изображения деформаций и их размеров, необходимо особенно точно и подробно описать устройство и материал фундаментов и оснований, способы производства работ, мероприятия и устройства, которые были приняты при постройке в целях избежания влияния вечной мерзлоты на сооружение. Для этого могут быть использованы рабочие чертежи произведены осмотр сооружения и опрос местных жителей.

3) Здание ориентируется по странам света.

4) Описывается характер местности с указанием рельефа, растительности, верхнего покрова почвы, и дается топографическая съемка полосы вокруг сооружения шириной не менее 100 *м* в масштабе 1 : 500.

5) Описываются мероприятия, принятые для отвода поверхностной воды от здания, с приложением схематического плана системы водоотводных и осушительных канав.

6) Составляется подробное описание деформаций с указанием их на планах и разрезах здания.

7) Точно устанавливаются размеры деформаций — длина и ширина трещин, относительное расположение их, осадка, выпирание и т. д., с составлением, если нужно, особых чертежей для этого. Измерение трещин следует производить при помощи метра и штангенциркуля. Концы трещин на сооружении надлежит отметить чертой, проведенной масляной краской. Осадку и выпирание необходимо измерить нивеллировкой. Полученные отметки надо сравнить с отметками по проекту или с рабочими чертежами.

При отсутствии данных сравнение отметок следует сделать приблизительно по недеформированным соседним частям сооружения (например противоположная сторона).

8) Исследователи должны дать дополнительно свои соображения и заключения как по затронутым вопросам, так и по вопросам, не вошедшим в приведенный перечень, но по мнению наблюдателей интересным и важным.

9) При стационарном наблюдении деформирующегося сооружения последовательно и точно описывается течение деформаций и связь их с внешними явлениями.

2. Обследования в геологическом, гидрологическом и мерзлотном отношениях должны быть исполнены следующим образом и в следующем объеме:

1) Дается общая геологическая, гидрологическая и мерзлотная характеристика района, включая общее описание местности, характер и особенности мерзлоты, состав грунтов деятельного слоя и слоя вечной мерзлоты, влажность их, температуру и физико-механические характеристики грунтов.

2) Устанавливается напластование и характер грунтов возле здания и под ним.

3) Выясняются режим грунтовых вод, их уровень и химический состав (степень агрессивности).

4) Устанавливается верхняя граница вечной мерзлоты и размер деятельного слоя в момент обследования, при помощи мероприятий, указанных далее в п. 10 этого параграфа, в местах деформаций и вообще под зданием или у здания не менее чем в 10—12 точках, составив профили-разрезы почвы.

5) Устанавливается верхняя граница вечной мерзлоты, бывшая при постройке здания, путем опроса или по чертежам проекта.

6) Устанавливаются средняя, а также наибольшая положительная и отрицательная годовая температура местности по соответствующим источникам, а при стационарных исследованиях ведется полное наблюдение за климатическим режимом.

7) Устанавливается высота снежного покрова данной местности и выясняется вопрос о покрове, бывшем до эксплоатации здания.

8) Устанавливается количество годовых осадков.

9) Определяется механическая прочность вечномерзлого грунта и прочность смерзания деятельного слоя с материалом фундамента.

10) В целях выяснения данных надлежит: а) в местах деформаций отрыть шурфы (не менее трех) глубиной до подошвы фундамента; б) пробурить несколько буровых скважин глубиной не менее 5 *м* ниже подошвы фундамента для взятия проб грунта и определения залегания мерзлоты.

Число скважин должно быть таково, чтобы они дали возможность составить профиль грунта под зданием как поперек, так и вдоль его.

11) Дается общее заключение о вероятных причинах деформаций, их характере, течении и необходимых мероприятиях для борьбы с ними.

12) Излагаются соображения по вопросам, не вошедшим в приводимый перечень, но важным по мнению исследователей.

13) При стационарных наблюдениях за деформациями данного объекта надлежит:

а) установить маяки и марки и вести по ним журнал наблюдений;

б) вести систематические наблюдения за температурным режимом грунтов и конструкций здания. Эти наблюдения следует тщательно увязывать с температурным режимом наружного воздуха и эксплоатационным режимом здания;

в) для случаев внезапных проявлений резких деформаций следует определить влажность грунта в месте деформаций на разной глубине, в пределах до 2 *м* ниже подошвы фундамента.

14) Если в данной местности имеются здания, надлежит ознакомиться с ними, выяснить устройство их и их фундаментов, установить деформации, если последние наблюдались, и меры, которые были приняты для воспрепятствования влиянию вечной мерзлоты на них.

§ 6. Исследование деформаций мостов

1. Обследование в строительно-конструктивном отношении должно быть сделано в следующем порядке и объеме:

1) Надлежит составить чертежи моста или трубы с возможной точностью в масштабе 1/50—1/100 н. в. путем съемки сооружения в натуре лентой или по данным соответствующих учреждений, включая план опор, продольные и поперечные разрезы опор и фундаментов с указанием глубины заложения опор и устройства их.

2) В чертежах следует отметить материал отдельных элементов опор, состояние поверхности части фундамента в пределах деятельного слоя, глубину заложения опор. Чертежи должны быть снабжены подробным описанием конструкции и устройства опор моста, в котором надо обратить особенное внимание на фундаменты и на те мероприятия, которые были предприняты раньше (при постройке или во время эксплоатации моста) для предотвращения или уменьшения влияния вечной мерзлоты на сооружение. На чертежах должны быть отмечены места деформаций.

3) Кроме указанного, следует дать следующие сведения:

а) о материале облицовки опоры и цвете камня; б) о материале насыпи; в) об устройстве откосов и их обделке; г) о наличии затенений и вообще растительности возле опор; д) об устройстве и работе регуляционных и укрепительных сооружений. Эти данные могут быть получены путем осмотра.

4) Необходимо ориентировать мост по странам света, отметив это на чертежах.

5) Описать характер реки, дать чертеж живого сечения с указанием горизонтов воды: меженнего, ледохода, а также наивысшего (при наводнениях или при летних и осенних половодьях). Собрать материалы гидрометрических наблюдений за 5—10 лет.

6) Произвести топографическую съемку района моста, сообразуясь с размерами сооружения, и описать характер местности, указав рельеф.

7) Составить подробное описание деформаций, указав их на плане и разрезах сооружения.

8) Измерить точно размеры деформаций, а именно:

а) длину и ширину трещин и относительное их расположение, при помощи обмера метром и штангенциркулем;

б) наклон и сдвиг сооружения или частей его;

в) осадку сооружения или высоту выпирания.

Два последних измерения следует произвести при помощи точной нивеллировки. Полученные отметки надлежит сравнить с имеющимся на месте репером по указанию местной дорожной администрации и с проектным чертежом. При перекосах, наклонах и смещениях произвести съемку теодолитом, тщательно проверить и замерить расположение опорных частей. Если для большей ясности картины деформаций окажется полезным дать какие-либо чертежи, то их необходимо сделать.

9) Дать свои соображения как по затронутым здесь вопросам, так и по вопросам, не вошедшим в приведенный перечень, но, по мнению наблюдателя, важным и интересным.

10) При стационарном наблюдении за деформирующимся сооружением

надлежит поставить марки и маяки, последовательно и точно описывать течение деформаций и связь их с внешними явлениями, пользуясь, кроме того, для наблюдений деформометром и прогибомером.

2. Обследования в геологическом, гидрологическом и мерзлотном отношениях включают следующее:

1) Составление поперечных и продольных геологических разрезов русла реки на 100 *м* в обе стороны по данным ведомства, ведающего дорогой, а в необходимых случаях — при помощи разведочных работ.

2) Составление общей геологической, гидрологической и мерзлотной характеристик местности, включая общее описание местности, характер и особенности мерзлоты, состав грунтов деятельного слоя и слоя вечной мерзлоты, влажность их, температуру и физико-механические характеристики грунтов.

3) Выяснение режима грунтовых вод и их уровня путем осмотра, наблюдения и опроса местных жителей.

4) Установление залегания материка или коренных пород в месте сооружения по данным организации, ведающей дорогой, а при необходимости — путем разведочных работ.

5) Установление верхней границы вечной мерзлоты и мощности деятельного слоя в момент обследования: в местах деформаций; с боков у носа и у кормы быка; с боков, спереди и сзади устоя, не менее чем в четырех точках, кроме мест деформаций, а также средней для данной местности глубины залегания вечной мерзлоты.

6) Установление верхней границы вечной мерзлоты, встреченной при постройке моста.

7) Установление средней годовой температуры местности, а также наибольшей отрицательной и положительной температур, по соответствующим источникам.

8) Установление высоты снежного покрова по данным климатологического справочника.

9) Определение количества осадков в данной местности и времени выпадения, а при стационарных исследованиях — производство полного наблюдения за климатом.

10) Установление механической прочности вечномерзлых грунтов в мерзлом и талом состояниях.

11) Установление прочности смерзания вечной мерзлоты с материалом фундамента опор.

12) В целях выяснения данных по предыдущим пунктам надлежит произвести шурфование и бурение:

а) шурфы назначать в местах деформаций глубиной до подошвы фундамента;

б) буровые скважины делать в шурфах и возле фундаментов глубиной от 5 *м* и ниже подошвы фундамента, по соображению на месте;

в) число, размер, глубина и расположение скважин определяются возможностью составления поперечного и продольного геологических и мерзлотных профилей почвы и уточняются на месте.

13) Установить наличие, место, время образования и размер грунтовых наледей в районе моста.

14) Дать заключение о вероятных причинах деформаций, их характере, последовательности, течении и о необходимых мероприятиях по борьбе с ними.

15) Изложить свои соображения по вопросам, не вошедшим в вышеприведенный перечень, но, тем не менее, важным по мнению исследователя.

16) При стационарных наблюдениях за деформирующимся сооружением следует:

а) установить марки и маяки и вести журнал наблюдений, описывая обстоятельства, последовательность и величину деформаций, используя для наблюдений соответствующие приборы;

б) вести систематические наблюдения за температурным режимом грунтов, тела опор сооружения и наружного воздуха.

Для случаев внезапного проявления резких деформаций надлежит руководствоваться указаниями § 5, раздела 2, п. 13в.

17) При наличии в данной местности других сооружений дать их характеристику и описать устройство. Выяснить, имеют ли они деформации. Установить, какие меры принимались по отношению к этим сооружениям во избежание влияния вечной мерзлоты.

§ 7. Исследование деформаций земляного полотна и водоотводных сооружений

Обследование в строительно-конструктивном отношении должно быть сделано в следующем порядке и объеме.

1. Надлежит путем промера и нивеллировки на месте составить продольный профиль и ряд поперечных профилей обследуемого участка земляного полотна. Поперечные профили снимаются на всех пикетах и плюсах, имеющихся в рабочем построечном продольном профиле, и должны охватывать не только самое полотно (выемку или насыпь), но и прилегающие к полотну бермы, резервы, водоотводные канавы, банкеты, кавальеры, нагорные канавы и другие водоотводные сооружения на ширину около 50 *м*, считая от подошвы откоса. Продольный и поперечные профили вычерчиваются в установленном нормальном масштабе. На эти снятые с натуры профили наносится пунктиром очертание нормального (недеформированного) полотна на основании исполнительных построечных чертежей. Кроме того необходимо дать топографическую карту местности на ширину не менее 100 *м* в масштабе 1 500.

2. На чертежах следует отметить наличие, род, материал и состояние укреплений откосов насыпей, выемок, водоотводных и дренажных сооружений.

3. Сделать отдельные чертежи всех деформаций, просадок, трещин, сплывов, промоин, обвалов, осыпей и т. п., увязав их с продольными и поперечными профилями и установив время их появления.

4. Составить перечень пучин на полотне с точным указанием их места и размеров на топографической карте.

5. Дать описание мероприятий, применявшихся раньше при постройке или во время эксплоатации для предупреждения деформаций и для приведения полотна и других земляных сооружений в соответствие с проектом.

6. Дать сведения о материале насыпи, способе и времени ее возведения и аналогичные сведения о выемке.

7. Дать свои соображения о причинах деформаций и о целесообразности применявшихся мер для борьбы с ними.

Обследования в геологическом, гидрологическом и мерзлотном отношениях состоят в следующем:

1) Составляется при помощи разведочных работ геологический продольный разрез полотна и естественного основания под ним по одной из бровок полотна.

2) Составляется посредством разведочных работ для снятых поперечных профилей и для других характерных точек ряд поперечных геологических разрезов полотна и подстилающей его естественной земной поверхности.

3) Составляется путем разведочных работ ряд разрезов продольных и поперечных, устанавливающих наличие балластных корыт и характеризующих их очертание в плане и в профиле.

4) Устанавливаются уровень грунтовых вод и их режим.

5) Устанавливаются геологические и гидрогеологические особенности местности, могущие неблагоприятно влиять на устойчивость земляного полотна.

6) Составляется общее описание местности в геологическом, гидрологическом и мерзлотном отношениях с указанием характера и особенностей мерзлоты, состава грунтов деятельного слоя, слоя вечной мерзлоты, влажности их, температуры и физико-механических характеристик.

7) Устанавливаются положение в момент исследования верхней границы вечной мерзлоты и мощность деятельного слоя в пределах берм, резервов, канав, кавальеров и во всяком случае на расстоянии 50 *м* от подошвы откоса в ту и другую сторону.

8) Устанавливается бывшее при постройке положение верхней границы вечной мерзлоты.

9) Устанавливаются наличие в грунте и размеры ледяных прослойков, отдельных линз льда и больших массивов погребенного льда.

10) Устанавливаются средняя годовая температура местности, а также наибольшая отрицательная и положительная температуры.

11) Устанавливаются естественный поверхностный покров на обследуемом участке, а также размеры и время его нарушения.

12) Устанавливается время вырубки леса, если таковой был в пределах обследуемого участка.

13) Устанавливается влияние сохранившегося (на отдельных местах обследуемого участка) леса на горизонт грунтовых вод, на влажность грунта и на положение верхней границы вечной мерзлоты.

14) Устанавливается высота снежного покрова и время выпадения главных масс снега, а также количество осадков в данной местности и время их выпадения.

15) При стационарных наблюдениях производится полное изучение климата.

16) Устанавливается временное сопротивление грунта на раздавливание, разрыв и срезывание.

17) При стационарных наблюдениях ведется журнал наблюдений, в котором описываются время возникновения, характер, последовательность и величина деформаций, а также все сопровождающие деформацию обстоятельства.

18) При наличии в данной местности, поблизости от деформирующегося участка полотна, другого участка, не подвергающегося совсем деформациям или имеющего значительно меньшие деформации, производится тщательное подробное обследование и этого участка для выяснения особенностей (топографических, геологических, гидрологических, мерзлотных, конструктивных, грунтовых и пр.), обеспечивающих его от деформаций.

19) Исследователи должны изложить свои соображения по вопросам, не вошедшим в вышеприведенный перечень, но важным по их мнению.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Ответственный редактор *А. И. Никольский*

Тираж 2000 экз. Подписано к печати 27/V 1941 г. М 60325. Печатн. лист. $15^1/_4$. Авт. лист. 17,34. Тип. знаков в 1 печ. листе 52 000. Зак. № 66.

1-я тип. Машгиза НКТМ. Ленинград, ул. Моисеенко, д. 10.